



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH**

**Escola Politècnica Superior d'Enginyeria
de Manresa**



MÁSTER EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS NATURALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER



ESTUDIO DE LA DEFORESTACIÓN DEL PARQUE NACIONAL YASUNI (ECUADOR) UTILIZANDO EL SOFTWARE CLASLITE

Estudiante: Yadira Pazmiño Flores

Director: Joan Jorge Sánchez

Convocatoria: Enero 2018

RESUMEN

El software *CLASlite* trabaja a partir de cuatro funciones que incluye, calibración de imágenes crudas a reflectancia, segregación espectral automatizada, clasificación de cobertura fraccional, detección de cambios de deforestación y perturbación. Es una herramienta de gran importancia en estudios de deforestación mediante teledetección, ya que los datos que se obtienen a partir de esta tecnología pueden ser utilizados para estimación del ritmo de deforestación de los bosques, monitoreo de la biodiversidad, cuantificación de reservas de carbono, etc.

La utilización de este software para estimar el ritmo de deforestación de la zona petrolera y zona intangible del Parque Nacional Yasuní (Ecuador), permitió obtener una serie de imágenes de la cobertura fraccional del bosque. Las imágenes utilizadas fueron seleccionadas tomando como referencia las fechas en las que las empresas petroleras iniciaron sus actividades, con el fin analizar una línea de tiempo desde 1985 a 2017.

El producto de *CLASlite* ha sido ingresado en QGIS, un Sistema de Información Geográfica de código abierto. Con QGIS se han realizado, entre otros procesos, imágenes de falso color y enmascaramiento de la zona petrolera e intangible. Con el software ENVI se han analizado los niveles de gris y se ha procedido a clasificar las diferentes coberturas. Por último, se ha elaborado un histograma con ArcGIS con el fin de generar datos estadísticos del ritmo de deforestación del Parque Nacional Yasuní.

Los datos estadísticos obtenidos en el estudio han revelado que el ritmo de deforestación de la zona petrolera es considerable, habiendo pasado de ocupar la deforestación de un 22,20% de la superficie el 1985 a un 51,60% el 2017, mientras que en la zona intangible ha pasado del 8,14% el 1985 al 12,90% el 2017.

ABSTRACT

The *CLASlite* software works based on four functions including, calibration of raw images to reflectance, automated spectral segregation, classification of fractional coverage, detection of changes in deforestation and disturbance; It is a very important tool because the data obtained from this technology can be used to estimate the rate of deforestation of forests, biodiversity monitoring, and carbon stocks.

Therefore, the use of this software to estimate the rate of deforestation of the Yasuní National Park (Ecuador) allowed to obtain a series of images of the fractional coverage of the forest; the images were selected taking as reference the dates in which the oil companies started their activities, a timeline was analyzed from 1985 to 2017.

The *CLASlite* product was entered into an open source geographic information System (QGIS), in which were carried out false color processes, masking of the oil and intangible zone were made. In ENVI, the grey levels were analyzed and the different coverages were classified. Finally, a histogram was made in ArcGIS in order to generate statistical data of the deforestation rate of the Yasuni National Park.

The statistical data obtained in the study revealed that the rate of deforestation of the oil extraction area is notable and it has gone from 22.20% (1985) to 51.60% (2017), while in the intangible zone it has gone from 8.14% (1985) to 12.90% (2017).

INDICE

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
INDICE DE FIGURAS	v
INDICE DE TABLAS	vi
INDICE DE ABREVIATURAS	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS.....	1
1.2. MONITOREO DE LA DEFORESTACIÓN DE BOSQUES	2
1.3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN ESTUDIOS AMBIENTALES	2
1.4. EVALUACIÓN DE FACTORES HISTÓRICOS Y SOCIO-ECONÓMICOS ASOCIADOS A LA DEFORESTACIÓN	3
1.5. PROYECTOS DE REFORESTACIÓN	6
1.5.1. Monitoreo Satelital en REDD+ (Reducción de las emisiones de la deforestación y degradación)	6
1.5.2. Avances del programa REDD+ en Ecuador.....	8
2. MARCO TEÓRICO	10
2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y LÍMITES.....	10
2.1.1. Ubicación	10
2.1.2. Principales ríos que rodean el PNY.....	10
2.2. CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS.....	11
2.2.1. Clima	11
2.2.2. Topografía	11
2.3. BIODIVERSIDAD	12
2.4. ECOLOGÍA DEL PARQUE NACIONAL YASUNÍ	14
2.5. ASPECTOS SOCIALES	16
2.5.1. Pueblos Indígenas en Aislamiento Voluntario (PIAV)	17
2.6.1. Bloques 14, 16 y 17.....	18
2.6.2. Bloque 31	19
2.6.3. Bloque 43	20
2.7. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL PRODUCIDA POR LA ACTIVIDAD PETROLERA EN SUS DISTINTAS FASES.....	22
2.7.1. Prospección Sísmica.....	22
2.7.2. Perforación	22

2.7.3. Extracción.....	23
2.7.4. Transporte: (Oleoductos y Carreteras)	23
2.8. IMPACTOS DE LA DEFORESTACIÓN EN LOS BOSQUES TROPICALES	24
2.9. CLASlite	25
2.9.1. Funciones de <i>CLASlite</i>	26
2.9.2. Pasos que realiza <i>CLASlite</i>	27
3. CASO DE ESTUDIO	32
3.1. Metodología	32
3.1.1. Selección de imágenes	32
3.1.2. Procesamiento de las imágenes seleccionadas en el software <i>CLASlite</i>	33
3.1.3. Creación de un falso color (QGIS).....	34
3.1.4. Creación de una máscara (QGIS).....	37
3.1.5 Identificación de los niveles de gris (ENVI).....	39
3.1.6. Estadística (ArcGIS)	39
4. RESULTADOS	41
4.1. Imágenes procesadas por <i>CLASlite</i>	42
4.2. Falso Color.....	43
4.3. Máscara.....	43
4.4 Niveles de gris identificados en ENVI	45
4.5. Estadística	45
4.5.1. Zona petrolera	45
4.5.2. Zona intangible.....	46
5. CONCLUSIONES	48
6. BIBLIOGRAFÍA:	49

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Zonificación del territorio con riesgo de incendios forestales	5
Figura 2 Macro Zonas REDD+ en Ecuador	9
Figura 3 Parque Nacional Yasuní Ecuador.....	10
Figura 4 Especies del Parque Nacional Yasuní	13
Figura 5 Ubicación Neotrópico	14
Figura 6 Pueblos indígenas del Parque Nacional Yasuní	16
Figura 7 Bloques Petroleros del Parque Nacional Yasuní	18
Figura 8 Operaciones Petroleras en el Parque Nacional Yasuní	19
Figura 9 Presentación del software CLASlite	26
Figura 10 Procesos de CLASlite	27
Figura 11 Detección de Cambio del Bosque	31
Figura 12 Imagen satelital del Parque Nacional Yasuní	33
Figura 13 Creación ráster virtual.....	35
Figura 14 Selección de las bandas color natural.....	36
Figura 15 Selección de las bandas falso color.....	36
Figura 16 Sistema Nacional de áreas protegidas de Ecuador.....	37
Figura 17 Creación archivo (máscara).....	38
Figura 18 Ráster cobertura fraccional 1985 (CLASlite).	38
Figura 19 Zona petrolera Parque Nacional Yasuní.	39
Figura 20 Zona intangible Parque Nacional Yasuní.....	40
Figura 21 Histograma.	40
Figura 22 Cobertura boscosa del PNY en diferentes años.	42
Figura 23 Falso color del PNY en diferentes años.	43
Figura 24 Máscaras del Parque Nacional Yasuní.....	44
Figura 25 Cambios de cobertura Zona petrolera.	46
Figura 26 Cambios de coberturas en la Zona intangible.	47

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Componentes escalares y disciplinares del monitoreo	7
Tabla 2 Ecosistemas del Parque Nacional Yasuní	15
Tabla 3 Bandas de cobertura fraccional.	29
Tabla 4 Años de las imágenes seleccionadas	32
Tabla 5 Características de las bandas espectrales.....	34
Tabla 6 Combinación RGB.	35
Tabla 7 Niveles de gris asignados a cada clase de cobertura.	45
Tabla 8 Número de píxeles de las diferentes coberturas en la zona petrolera.....	45
Tabla 9 Cálculo de porcentajes de coberturas en la zona petrolera.....	45
Tabla 10 Número de píxeles de las diferentes coberturas en la zona intangible.....	46
Tabla 11 Cálculo de porcentajes de coberturas en la zona intangible.....	47

INDICE DE ABREVIATURAS

CLASlite	<i>Carnegie Landsat Analysis System - Lite</i>
DN	<i>Digital number</i> - Número digital
ITT	Ishpingo, Tambococha, Tiputini
PIAV	Pueblos indígenas en aislamiento voluntario
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PNY	Parque Nacional Yasuní
REDD+	Reducción de las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación
RGB	Rojo, verde, azul
QGIS	Quantum GIS
SIG	Sistemas de Información Geográfica
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

1. INTRODUCCIÓN

La identificación automatizada de la deforestación de los bosques a partir de imágenes satelitales de sensores remotos, utilizando softwares como *CLASlite* ha tomado gran importancia ya que los datos que se pueden obtener a partir de estas herramientas pueden ser utilizados para monitoreo de biodiversidad, estimación de reservorios de carbono, desarrollo de políticas para manejo de recursos naturales, etc.

Este trabajo se centra en hacer una estimación del ritmo de deforestación de la zona petrolera e intangible del Parque Nacional Yasuní (Ecuador). Para ello, se han utilizado imágenes varios satelitales de la serie Landsat, y han sido procesadas con el software *CLASlite* (*Carnegie Landsat Analysis System – Lite*, Sistema de Análisis Landsat de Carnegie); el producto de este sistema ha sido trabajado con diferentes softwares QGIS (Sistema de Información Geográfica (SIG) de Código Abierto) para falsos colores y enmascaramiento; ENVI para el reconocimiento de niveles de gris; y ArcGIS para obtener datos estadísticos de la cobertura boscosa a lo largo del tiempo.

1.1. OBJETIVOS

En este trabajo se han considerado los siguientes objetivos:

- ❖ Estimar el ritmo de deforestación de la zona petrolera e intangible del Parque Nacional Yasuní (Ecuador).
- ❖ Entender las funciones que *CLASlite* utiliza para detectar cambios en la cobertura forestal.
- ❖ Analizar los impactos ambientales al medio natural y a los pueblos en aislamiento voluntario causados por la deforestación en el Parque Nacional Yasuní.

1.2. MONITOREO DE LA DEFORESTACIÓN DE BOSQUES

El monitoreo de la deforestación y la degradación forestal es fundamental para evaluar los cambios en el almacenamiento de carbono, la biodiversidad, y muchos otros procesos ecológicos en las regiones tropicales. La teledetección por satélite es la forma más precisa y rentable para monitorear los cambios en la cubierta forestal y la degradación en grandes áreas geográficas (Asner *et al.* 2009).

Existen sistemas automatizados para realizar este tipo de estudios como *CLASlite*, que es un software de identificación rápida de la deforestación y degradación de los bosques; esta herramienta aumenta la capacidad de gobiernos, ONGs, e investigación/academia, para el mapeo y monitoreo de los bosques tropicales; ofrece una tecnología amigable y científicamente sólida para el monitoreo de bosques (Asner *et al.* 2013).

1.3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN ESTUDIOS AMBIENTALES

Los estudios medioambientales surgen como una herramienta de gestión en la política medioambiental actual, encaminada hacia la conservación de los recursos naturales y la protección del medio ambiente.

En la realización de este tipo de estudios es necesaria no sólo la participación de un equipo multidisciplinar de profesionales, sino el posterior almacenamiento, unificación y conjunción de los datos “geográficos” con el fin de obtener una visión conjunta e integrada del territorio que permita la racionalización de las actividades antrópicas dentro del mismo (Gómez 1992).

Los sistemas de información geográfica se han configurado como herramientas cada vez más útiles e imprescindibles para las tareas de planeamiento territorial, por lo que su uso resulta imprescindible.

Puntos básicos en los que radican las ventajas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son:

- a) Almacenamiento de los datos obtenidos de inventarios de las bases de datos, de forma que dicha información es susceptible de ser modificada tanto en cuanto los datos “espaciales” introducidos sufran variaciones en el transcurso del tiempo.

- b) Unificación de gran cantidad de información sobre un territorio determinado (composición del terreno, recursos naturales, fenómenos meteorológicos, flora, fauna).
- c) Tratamiento conjunto de dicha información, lo que permite el análisis aislado o conjunto de una, varias o todas las variables analizadas, en función de lo cual se pueden obtener respuestas “integradas” que permiten una adecuada caracterización del territorio.
- d) Permite la cuantificación de los posibles impactos y riesgos en función de actividades proyectadas en un territorio determinado.
- e) Evaluación de los costes y las medidas alternativas que pueden conducir a corregir los impactos detectados
- f) Accesibilidad a la información. La realización de estudios medioambientales con la utilización de dichos sistemas supone la disponibilidad, para usuarios públicos o privados, de bases de datos que les permitan conocer las características de un territorio determinado (Gómez 1992).

1.4. EVALUACIÓN DE FACTORES HISTÓRICOS Y SOCIO-ECONÓMICOS ASOCIADOS A LA DEFORESTACIÓN

La deforestación de las selvas tropicales puede ser causada por diferentes factores a lo largo del tiempo, transformando los paisajes notablemente. Hacer un estudio histórico de las causas por las cuales se perdió la cobertura boscosa sería una tarea complicada sin la ayuda de los SIG que nos permiten obtener información coherente y comparable que ayuda a conocer qué usos del suelo hubo y el grado en que afectaron al bosque (Jossely 2003).

Se han hecho varias investigaciones para evaluar los efectos que han tenido los bosques debido actividades antrópicas, como por ejemplo la industria maderera, que con las operaciones de tala que realiza da lugar a altos niveles de daño del dosel vegetal, suficientes para dejar a los bosques susceptibles a la sequía (Asner *et al.* 2006).

La industria petrolera ha contribuido históricamente a la deforestación debido a la pérdida de bosques por infraestructuras, construcción de campamentos, empalización de carreteras con miles de tablones extraídos de los bosques aledaños, provocando serios impactos en los animales de la selva (Bravo 2007).

Malas prácticas agrícolas también pueden ser muy perjudiciales para el medio ambiente y, mientras se encuentran alternativas viables, es recomendable conocer qué factores han ocasionado a lo largo del tiempo la pérdida de la cobertura vegetal para lograr dar soluciones efectivas (Álvarez Rogel 2011).

Al existir pérdida constante de cobertura boscosa los suelos se hacen más propensos a *incendios* incrementando el cambio climático, afectando con mayor severidad áreas extensas en diversas regiones del mundo produciendo importantes pérdidas económicas y ambientales, además de la destrucción del valor paisajístico y la alarma que se genera (Álvarez Rogel 2011).

El monitoreo satelital es muy útil para analizar el incendio antes de que se suscite, durante y después. A continuación se describe cada una de las etapas.

a) Prevención: anticiparse al incendio

El cuidado y planificación de las masas forestales en lo referente al análisis de riesgo de incendios se pueden realizar a partir de gran cantidad de datos geográficos que deben ser procesados en softwares para la obtención de información. Análisis históricos de causas y el uso de imágenes de satélite de épocas diversas permite aportar valiosa información a los mismos.

Se puede realizar zonificaciones del territorio atendiendo a niveles de riesgo y peligrosidad, y así poder realizar una planificación de labores selvícolas y de concienciación oportuna (Álvarez Rogel 2011). La figura 1 muestra un ejemplo de zonificación del territorio con riesgo de incendios forestales en Chile (Rodríguez 2010).

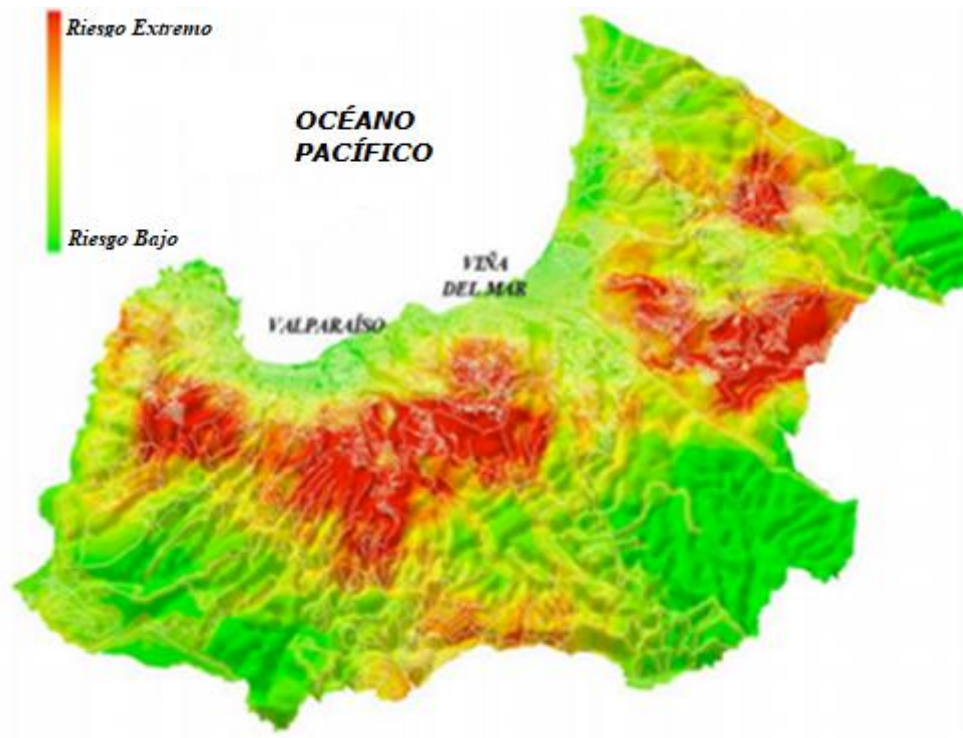


Figura 1 Zonificación del territorio con riesgo de incendios forestales (Chile)
(Rodríguez 2010).

b) Detección y extinción

Cuando se produce un incendio es prioritario minimizar el tiempo de detección y, así, valorar lo antes posible la peligrosidad del mismo sobre el medio. Puestos de vigilancia satelital hacen que en gran parte del territorio no transcurra mucho tiempo desde que se produce un incendio hasta que se da la alerta.

Los sistemas de información geográfica y el conocimiento territorial juegan un papel fundamental en las tareas de extinción. El conocimiento del entorno, ya sea población, infraestructuras, puntos de agua, lugares de especial protección, orografía, meteorología, son variables fundamentales en fases muy tempranas del incendio (Álvarez Rogel 2011).

c) Seguimiento del área afectada después de un incendio

El apoyo en la teledetección (junto con trabajo de campo) puede ser una herramienta fundamental en la determinación de la extensión del área quemada, valoración de daños producidos, seguimiento de la capacidad del ecosistema para la regeneración natural (Álvarez Rogel 2011).

1.5. PROYECTOS DE REFORESTACIÓN

El monitoreo forestal nos permite localizar y estimar el grado de deforestación y efectos en los ecosistemas forestales, principalmente en aquellos más aislados, pudiéndose simular situaciones de riesgo para ver como evolucionarían hipotéticamente (Duchelle 2013).

Se pueden estimar consecuencias, desarrollo de planes, sistemas y controles de restauración. Cuando se diseñan estos planes es necesario tener herramientas que ayuden a controlar el antes, durante y después del proyecto con el fin de optar por las técnicas más eficientes.

La gestión de los recursos forestales requiere la integración de un gran número de datos referenciados en el espacio y en el tiempo. Para el manejo y análisis de toda esta información los SIG son en la actualidad una herramienta imprescindible en la toma de decisiones respecto al manejo de los recursos, siendo especialmente interesantes en la valoración de los recursos forestales (inventario, seguimiento y determinación de la idoneidad de localización) y en el manejo de los recursos (análisis, modelización, y predicciones para la toma de decisiones de gestión) (Sánchez et al.2012).

1.5.1. Monitoreo Satelital en REDD+ (Reducción de las emisiones de la deforestación y degradación)

En las últimas décadas se han visto niveles altos de deforestación, particularmente en los trópicos a causa de roturaciones para explotaciones agrícolas de gran escala, minería, explotación petrolera,...

La desaparición de los bosques es un factor preocupante por muchas razones, como la pérdida de biodiversidad, daños a servicios de ecosistema como el aprovisionamiento de agua, contribución al cambio climático (Baldo et al.2010).

Los científicos informan que la tala de bosques y los cambios en el uso de la tierra provocan entre el 12% y el 18% de las emisiones anuales globales de dióxido de carbono. Frenar la deforestación y la pérdida de bosques se ha convertido, por lo tanto, en una parte importante de los esfuerzos globales para limitar el cambio climático (Baldo et al 2010).

En respuesta a esto fue creada una propuesta llamada REDD+. En ella se refiere al empleo de políticas y compensaciones financieras para aquellos países en desarrollo que protejan

sus bosques con el fin de reducir las emisiones de la deforestación y degradación (REDD), apoyar la conservación de las reservas existentes de carbono de los bosques, la gestión sostenible del bosque, y el aumento de las reservas de carbono de los bosques en países en desarrollo (Duchelle 2013).

Al existir este tipo de acuerdos entre los diferentes países, se han establecido parámetros de control de las reservas y es aquí donde la aplicación de sistemas de monitoreo satelital y softwares que nos permitan detectar los cambios de cobertura boscosa toman un papel fundamental, debido a los datos que se pueden obtener en los análisis con este tipo de herramientas; es así que, esta información servirá de soporte para justificar y controlar el cumplimiento de los acuerdos. La tabla 1 explica la interacción de los diferentes componentes que intervienen en un monitoreo REDD+ (Duchelle 2015).

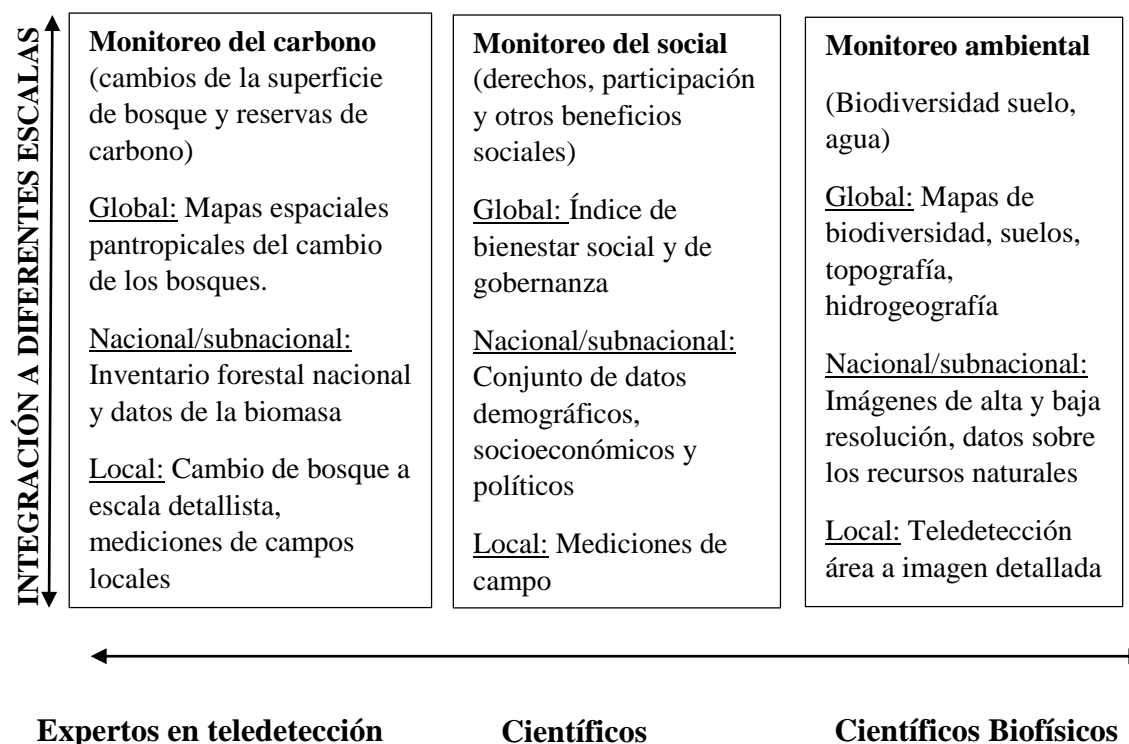


Tabla 1 Componentes escalares y disciplinares del monitoreo REDD+ (Duchelle 2015).

El monitoreo forestal se ha convertido en una importante herramienta de las políticas nacionales para los países que evalúan y entienden los factores impulsores del cambio forestal, sustenta REDD+ y otras estrategias relacionadas de uso del suelo respetuosas con el clima, supervisa la implementación y sienta las bases para la distribución de los beneficios generados mediante el financiamiento climático (Duchelle 2015).

Los científicos siguen trabajando en la teledetección y en softwares centrados en mejorar los sistemas y enfoques para el monitoreo forestal, control de las reservas de carbono. La información obtenida de los monitoreos satelitales permitirá evaluar las actividades humanas que provocan emisiones o absorciones de los gases de efecto invernadero en los reservorios de carbono (Duchelle 2015).

1.5.2. Avances del programa REDD+ en Ecuador

Ecuador ha puesto en acción la ejecución de actividades específicas para lograr cumplir las fases propuestas por el proyecto de REDD+.

- **Fase de preparación (2012-2014):** Marco de precondiciones hacia la implementación de REDD+, avances respecto del marco político, institucional, normativo y operativo de REDD+.
- **Fase de implementación (2015-2021):** Diseño y arranque del Plan de Acción REDD+, a través de actividades de reducción de emisiones para el sector forestal, monitoreos forestales (Proaño 2011).

La figura 2 muestra la distribución de Ecuador en el proyecto REDD+(Proaño 2011).

En 2017 el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) presentó los avances del programa REDD+, o sea, de la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los bosques y la función de conservación de reservorios de carbono, manejo sostenible de bosques e incremento de contenidos de carbono de los bosques, en el país, con el apoyo del Programas de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura (FAO). En el encuentro se dio a conocer que Ecuador se convirtió en el segundo país en finalizar su proceso de preparación para REDD+, considerado de “alta calidad” a nivel internacional (Soria 2017).

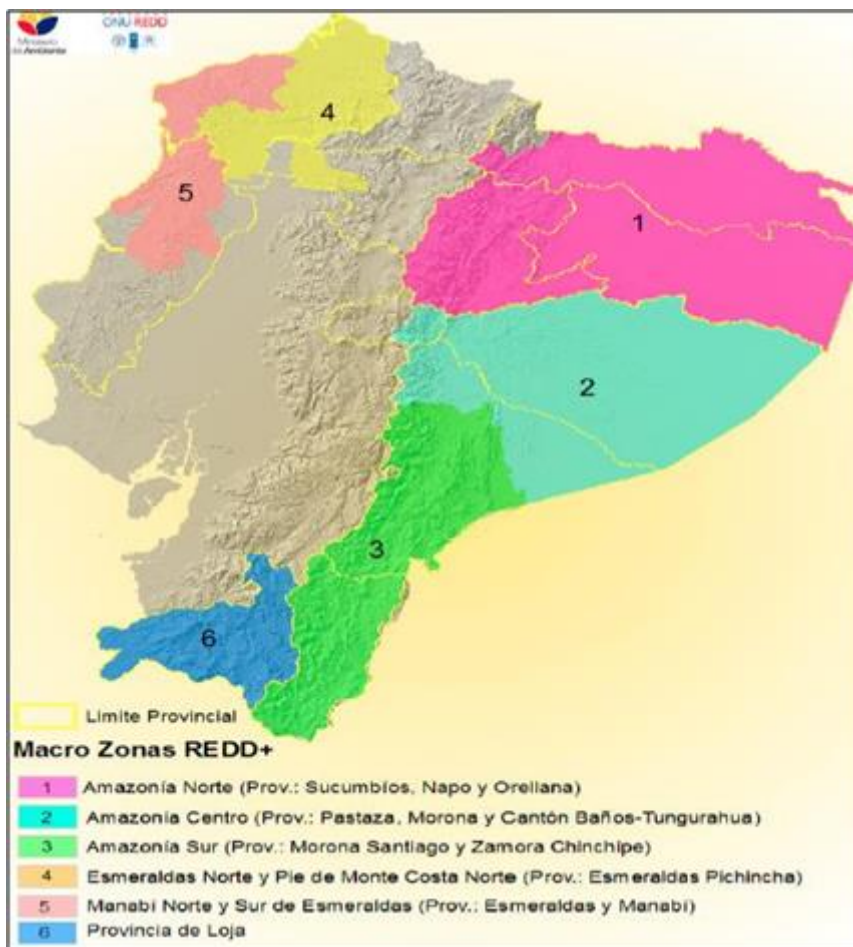


Figura 2 Macro Zonas REDD+ en Ecuador (Proaño 2011).

2. MARCO TEÓRICO

2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y LÍMITES

En la figura 3 se pueden observar los límites del Parque Nacional Yasuní.

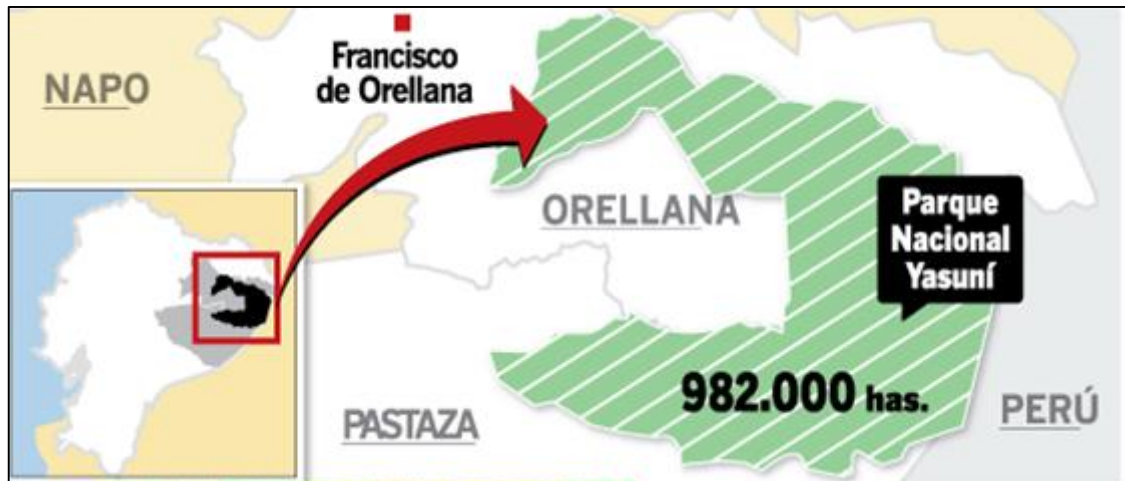


Figura 3 Parque Nacional Yasuní Ecuador (Bliemsrieder et al.2011).

2.1.1. Ubicación

El Parque Nacional Yasuní constituye el núcleo de la Reserva de la Biosfera Yasuní y está localizado en el sector centro oriental de la región amazónica ecuatoriana, en las provincias de Orellana (cantones Aguarico y Coca) y Pastaza (cantón Pastaza), entre los ríos Napo y Curaray (Bliemsrieder *et al.* 2011).

2.1.2. Principales ríos que rodean el PNY

- **El río Napo:**

Nace en la vertiente oriental de la cordillera de los Andes y recorre aproximadamente 300 km paralelos al límite del Parque, desde el Coca hasta Nuevo Rocafuerte, creando a su paso más de 120 islas e islotes.

- **El río Curaray:**

Nace en los declives del pie de monte andino y está localizado al sur del PNY.

2.1.3. Extensión

El Parque Nacional Yasuní declarado por la UNESCO como Reserva de la Biosfera y considerado uno de los lugares más biodiversos del planeta, es el área protegida más grande del Ecuador con una extensión de 1.022.736 ha (Bliemsrieder et al. 2011). En la zona norte del parque se encuentran ubicados los diferentes bloques petroleros (zona petrolera), mientras que la zona sur con aproximadamente 700.000 hectáreas ha sido vedada a perpetuidad para operaciones extractivas, incluida la actividad petrolera, y ha sido denominada Zona Intangible (Movimiento mundial por los bosques 2013).

Las zonas intangibles son “espacios protegidos de gran importancia cultural y biológica en los cuales no puede realizarse ningún tipo de actividad extractiva debido al alto valor que tienen para la Amazonía, el Ecuador, el mundo y las presentes y futuras generaciones” (Movimiento mundial por los bosques 2013).

La Zona Intangible se encuentra habitada por dos grupos indígenas, Tagaeri-Taromenane pueblos que buscaron vivir en aislamiento voluntario, especialmente a partir del auge petrolero de los años 70.

2.2. CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS

2.2.1. Clima

El clima del Yasuní se caracteriza por tener temperaturas cálidas con un promedio de 24°C a 27°C para todos los meses; las precipitaciones son altas, aproximadamente 3.200 mm anuales y humedad relativa del 80% al 94% durante todo el año. Yasuní está dentro del “Núcleo del Amazonas”, una región particularmente húmeda sin estación seca severa (Donoso 2008).

2.2.2. Topografía

El promedio de elevaciones del parque es bajo, de aproximadamente 190 m a 400 m sobre el nivel del mar; el territorio es frecuentemente cruzado por crestas de 25 m a 70 m. Los suelos son geológicamente jóvenes en su mayoría, producto de los sedimentos fluviales por la erosión de los Andes (Donoso 2008).

2.3. BIODIVERSIDAD

Los altos niveles de biodiversidad del PNY son probablemente su característica más particular, la cual hace resaltar el área protegida dentro de los ecosistemas globales.

No se conoce por qué la diversidad biológica es tan alta pero algunas hipótesis señalan que esto se puede deber a la confluencia de las estribaciones de los Andes, la selva amazónica y la ubicación ecuatorial del área. Igualmente, hay indicaciones de que la falta de estacionalidad y la alta precipitación son factores contribuyentes (Bliemsrieder et al. 2011).

Aves, mamíferos y plantas vasculares llegan a la biodiversidad máxima en relación al resto de América del Sur.

Gracias a los constantes esfuerzos por conocer este ecosistema se ha podido estimar un elevado número de especies, las mismas que aumentan continuamente, según se continúa estudiando:

- 2274 especies de árboles y arbustos
- 204 especies de mamíferos (de los cuales más de 90 son murciélagos)
- 610 especies de aves
- 121 especies de reptiles
- 139 especies de anfibios
- Más de 268 especies de peces
- Cientos de miles de especies de insectos (Bliemsrieder et al. 2011).

La flora más representativa del PNY se encuentra formada por algunas especies como la chonta, chambira, chontilla, cruz caspi, cedro, chuncho, guarumo, colorado, laurel, palmito, platanillo, pambil, ungurahua, macrolobio, morete, balsa, tagua, caoba, una de gato, sangre de gallina y de drago (Benalcázar 2010).

En cuanto a la fauna la presencia de grandes predadores como el jaguar y el puma, es una muestra de que la fauna aún mantiene un equilibrio en su entorno. Se pueden encontrar en el Parque especies como la nutria gigante, el delfín rosado, la danta, tigrillos, pecarís y otros (Benalcázar 2010). En la figura 4 se muestran las especies más importantes del Parque Nacional Yasuní. (Jossely 2003).

Reinos			
Animal		Vegetal	
Imagen	Nombre	Imagen	Nombre
	Hormiga conga		Pampira
	Tapir		Capirona
	Mono aullador		Barbasco
	Tortugas		Matapalo
	Mariposas Colipato verde		Yahuasca
	Búho		Pata de Danta
Fungi			
Imagen		Nombre	
		Hongos	

Figura 4 Especies del Parque Nacional Yasuní (Jossely 2003).

Es importante mencionar que el Parque Nacional Yasuní es el hogar de un número considerable de especies globalmente amenazadas, es decir, especies que se encuentran en las categorías de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) como: en peligro crítico, en peligro, o vulnerable. Estas incluyen 13 especies de vertebrados documentados y se estima que 56 especies de plantas (Benalcázar 2010).

2.4. ECOLOGÍA DEL PARQUE NACIONAL YASUNÍ

Los bosques tropicales ocupan aproximadamente el 7% de la superficie de la Tierra y un 50% de la biodiversidad mundial. Si bien existen bosques tropicales lluviosos en África y Asia, aproximadamente el 57% de los que quedan en la Tierra están en el Neotrópico (Donoso 2008). En la figura 5 se puede observar la ubicación de Neotrópico (Donoso 2008).



Figura 5 Ubicación Neotrópico (Donoso 2008).

El Parque Nacional Yasuní pertenece a la zona de vida de Bosque Húmedo Tropical lluvioso, en el cual se desarrolla una importante y evidente variación en la estructura y funcionamiento a nivel de formaciones florísticas y supervivencia de especies de animales (Donoso 2008).

El Bosque Húmedo Tropical es el bioma más complejo de la tierra en términos de su estructura y diversidad de especies. Ocurre bajo condiciones ambientales óptimas para la vida como: disponibilidad de calor durante todo el año y abundante precipitación.

Se muestra en la tabla 2 los principales ecosistemas presentes en el Parque Nacional Yasuní (Donoso 2008).

Tabla 2 Ecosistemas del Parque Nacional Yasuní (Donoso 2008).

ECOSISTEMAS DEL PARQUE NACIONAL YASUNÍ	
EL BOSQUE DE TIERRA FIRME SIEMPRE VERDE	<ul style="list-style-type: none"> • Vegetación siempre verde, heterogénea, densa con especies de gran tamaño y mucha flora. • Musgos, helechos, orquídeas, bromelias y otras formas de vida vegetal como hongos, lianas, trepadoras y líquenes. • Ocupa alrededor del 87% de la superficie total del parque. • La vegetación se encuentra dividida verticalmente por estratos.
BOSQUE INUNDABLE POR AGUAS BLANCAS	<ul style="list-style-type: none"> • Se ubica sobre los valles aluviales junto a los ríos Napo y Curaray, por lo cual sus suelos están enriquecidos por aguas blancas provenientes de los Andes. • Composición vegetal similar a la de tierra firme pero con menor diversidad. • Ocupa el 9% de la superficie total del parque. Estos suelos pueden pasar mucho tiempo sin inundarse, por esta razón suelen ser ocupadas por colonos.
BOSQUE INUNDABLE POR AGUAS NEGRAS O IGAPÓ	<ul style="list-style-type: none"> • Se ubica sobre valles aluviales en ríos de aguas negras y lagunas inundadas por aguas provenientes del río Yasuní y sus afluentes. • Abunda vegetación endémica. • Altura promedio de la vegetación 12 m. • Un tercio de la vegetación pasa bajo el agua durante casi todo el año.
BOSQUE INUNDABLE DE PALMAS O MORETAL	<ul style="list-style-type: none"> • Crecen en terrenos planos y depresiones mal drenadas de lluvia aluvial. • Su superficie está inundada durante casi todo el año. • La especie dominante de este bosque es el Morete o aguaje (<i>Mauritia flexuosa</i>), importante fuente de alimento y refugio para mamíferos, aves, reptiles, anfibios y una infinidad de invertebrados. • El Morete generalmente crece junto a un árbol de apéndices espinosos en su tallo <i>Jacaratia digitata</i> (Caricaceae), además de varias especies de palmas.
VEGETACIÓN DE ISLAS	<ul style="list-style-type: none"> • Principalmente sobre los ríos Napo y Curaray. • Dominan especies de la familia Cecropiaceae. • Vegetación similar a la de los bosques de Várzea.

2.5. ASPECTOS SOCIALES

El Yasuní no es simplemente un lugar megabiodiverso en términos biológicos, es también la cuna y hábitat de varias nacionalidades, culturas y saberes indígenas. Las comunidades que habitan en el parque y sus alrededores pertenecen a las nacionalidades Waorani, Kichwa y Shuar; además, se encuentran los pueblos Indígenas en aislamiento voluntario, asentamientos y asociaciones de colonos mestizos (Bliemsrieder et al. 2011). En la figura 6 se puede observar algunos miembros de las comunidades indígenas que viven el PNY (Bliemsrieder *et al.* 2011).



Figura 6 Pueblos indígenas del Parque Nacional Yasuní (Bliemsrieder et al.2011).

Dentro del PNY habitan 16 comunidades indígenas, 8 Kichwas y 8 Waoranis. Las comunidades Kichwas constituyen un actor fundamental para la conservación y gestión del área protegida entre las que tenemos:

- Añangu
- Indillama
- Nueva Providencia
- Pompeya
- San Roque
- San Isla (Bliemsrieder et al. 2011)

Las comunidades Waoranis que se han establecido dentro del área protegida son:

- Kawimeno
- Guiyero
- Timpoca
- Ganketapare
- Peneno
- Tobeta
- Bamenno
- Omakaweno (Bliemsrieder et al. 2011)

La Nacionalidad Shuar migró hacia la provincia de Orellana desde las provincias de Pastaza, Morona Santiago y Zamora Chinchipe, desde inicios de los años 70. Existen 15 centros Shuar que se encuentran asentados en la vía Auca- Shiripuno, con una población total de 1.000 personas (Bliemsrieder et al. 2011).

2.5.1. Pueblos Indígenas en Aislamiento Voluntario (PIAV)

A partir de 1999 los PIAV ubicados dentro del PNY y en la zona de amortiguamiento, cuentan con mecanismos de protección legal a través de la Zona Intangible Tagaeri Taromenane (ZITT) y el Plan de Medidas Cautelares. Los dos instrumentos a partir del 2011, se encuentran bajo responsabilidad del Ministerio de Justicia del Ecuador, precautelando así la integridad biológica del área con el fin de garantizar la supervivencia de estos pueblos indígenas (Bliemsrieder et al. 2011).

Una característica particular de los pueblos Tagaeiri y Taromenane en el Yasuní es la agresividad que han manifestado reiteradamente desde el boom petrolero hacia el mundo de afuera y, especialmente, con las intrusiones de foráneos en su territorio. Sin embargo, aunque se tiene registro de algunos ataques a partir del ingreso de compañías petroleras en la zona, la situación se ha agravado en los últimos años conforme al aumento de la presión sobre el territorio de estos pueblos. (Movimiento mundial por los bosques 2013).

Los conflictos que se han generado están relacionados con las características demográficas e ideológicas de su estructura social de cazadores-recolectores-horticultores culturalmente relacionados con los Waorani.

2.6. HISTORIA DE LA EXPLOTACIÓN PETROLERA DEL PARQUE NACIONAL YASUNÍ

El Parque Nacional Yasuní ha sido considerado el lugar de mayor biodiversidad en el hemisferio occidental. Fue creado en 1979 y declarado por la UNESCO como Reserva Mundial de la Biósfera en 1989 (Palmer 2009).

En el año 1986 se comienza la operación de los campos en esta región. Para ello se modifican las leyes de protección de áreas protegidas, permitiendo la explotación petrolera, e incluso modificando los límites de los parques nacionales para este fin (Palmer 2009).

Según datos proporcionados por fuentes de las firmas y del Ministerio de Recursos Naturales no Renovables, las tres compañías, en conjunto, extraen más de 150 mil barriles de crudo por día (Ricaurte 2010).

En la figura 8 se muestra un listado de las empresas petroleras que han operado en el PNY en sus distintos periodos (Ricaurte 2010).

Operaciones petroleras DENTRO DE YASUNÍ				
Bloque	Empresa	País	Año	Bpd
14	Elf Aquitaine	Francia	1986	16.292*
	Braspetro	Brasil	1997	
	Vintage			
	EnCana	EE.UU.	1997	
	Petroriental	Canadá	2002	
		China	2005	
16	Conoco	EE.UU.	1986	39.955
	Maxus	EE.UU.	1991	
	YPF	Argentina	1996	
	Repsol-YPF	España	2000	
* Esto incluye al 17				
EL UNIVERSO				

Figura 8 Operaciones Petroleras en el Parque Nacional Yasuní (Ricaurte 2010).

2.6.2. Bloque 31

El Bloque 31, de 200.000 ha, se ubica en un 80% sobre el Parque Nacional Yasuní; las reservas de petróleo probadas en este bloque son de 40 millones de barriles. Limita con la Zona Intangible donde se asientan los pueblos no contactados Tagaeri y Taromenane. La empresa brasileña Petrobras recibió por parte del Estado ecuatoriano una Licencia Ambiental (LA) en el año 2004, que le permitía empezar el “Proyecto de Desarrollo y Producción” de este Bloque. Esta licencia fue otorgada en base de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) con grandes falencias, como ha sido costumbre en las licencias que se han entregado a lo largo de la historia en la Amazonía (Andrea 2012).

En 2005, bajo el mandato del Presidente Lucio Gutiérrez, se otorgó a Petrobras una nueva licencia ambiental que le permitía empezar la tala de árboles para la construcción de infraestructura, principalmente para las vías de acceso, las mismas que habrían atravesado 8 cruces de ríos, 110 pantanos, colinas, llanuras fluviales y bosque maduro, exactamente en la zona de mayor biodiversidad del Parque (Andrea 2012).

La salida de Gutiérrez del poder y, sobre todo, la presión social, tanto nacional como internacional, contribuyeron a que Alfredo Palacio como Presidente Interino derogara tal licencia, por lo que Petrobras tuvo que suspender las operaciones. En 2007, Petrobras obtuvo una nueva Licencia Ambiental, pero abandonó el país en el 2010 después de no llegar a un acuerdo en la renegociación del contrato petrolero con el Estado ecuatoriano (Andrea 2012).

Es entonces que Petroamazonas asumió el control del Bloque 31. En enero de 2012 donde se anunció que se seguiría con el “Proyecto de Desarrollo y Explotación” del Bloque 31, el mismo que se encontraba avanzado en un 21% y para el cual se preveía una producción de 18.000 barriles diarios en 2013 hasta alcanzar los 25.000 diarios en 2014 (Andrea 2012).

2.6.3. Bloque 43

El bloque 43, conocido como ITT (Ishpingo-Tambococha-Tiputini) cubre 190.524 ha del parque nacional Yasuní; las reservas de petróleo probadas en este bloque son de 920 MM/BL (Ecologistas Acción 2011).

El ITT daría lugar a la construcción de 130 pozos, lo que supone 65.000 m³ de desechos sólidos y entre 325.000 y 390.000 m³ de líquidos tóxicos. Si la perforación es horizontal, la cifra puede aumentar a 78.000 m³ de sólidos y 420.000-504.000 m³ de líquidos (Ecologistas Acción 2011).

Con el fin de evitar la emisión de 400 millones de toneladas de CO₂, en el 2007, el Gobierno ecuatoriano plantea renunciar a la explotación y mantener indefinidamente en el subsuelo las reservas de crudo del bloque ITT a cambio de una compensación internacional por valor de, al menos, el 50% de los beneficios que recibiría si se explotase el crudo, estimados en alrededor de 7000 millones de dólares. La iniciativa fue presentada como (Ecologistas Acción. 2011):

- Una innovadora contribución a la lucha contra el cambio climático.
- La contribución del Ecuador a la conservación de una de las regiones con mayor diversidad biológica del mundo.
- Un nuevo modelo de desarrollo post-petrolero, para el Ecuador y para otros estados dependientes de la explotación de sus reservas de hidrocarburos.

El Gobierno Ecuatoriano también se comprometió en invertir lo recaudado en la creación de energías alternativas respetuosas con el medio ambiente y en políticas sociales. Sin embargo, esta iniciativa llegó a su fin en agosto de 2013 al no haber recibido la respuesta esperada por parte de la Comunidad Internacional, lográndose recaudar menos del 1% de lo esperado (Ecologistas Acción 2011).

Debido al fracaso de la iniciativa, se emite la licencia ambiental que da luz verde a la explotación de los campos Tambococha y Tiputini (Bloque 43), ubicados en un vértice del Parque Nacional Yasuní (Becerra 2016).

La decisión del Gobierno fue criticada por diferentes grupos ya que la Constitución del de la República del Ecuador dice:

Art. 407: *“Se prohíbe la actividad extractiva de recursos no renovables en las áreas protegidas y en zonas declaradas como intangibles, incluida la explotación forestal”* (Constitución de la República del Ecuador 2011).

Art. 71: *“La naturaleza o Pacha Mama, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.”* (Constitución de la República del Ecuador 2011).

El Plan Nacional del Buen Vivir exige:

7.11.D.: *“Fortalecer la aplicación de las medidas normativas y sus mecanismos para regular o restringir el ingreso y la expansión de actividades no permitidas y/o no compatibles con la conservación del patrimonio tangible e intangible de la Reserva de Biosfera Yasuní”* (Plan Nacional del Buen Vivir 2013).

El Gobierno justificó la decisión tomada haciendo referencia a los importantes recursos que obtendría de la explotación de casi mil millones de barriles de crudo que calcula que yacen en el ITT, mismos que ayudarían a mejorar la economía del país que al momento se ve muy afectada (Becerra 2016).

2.7. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL PRODUCIDA POR LA ACTIVIDAD PETROLERA EN SUS DISTINTAS FASES

La actividad petrolera es una de las industrias que más impactos ambientales y en la biodiversidad genera a nivel local y global

2.7.1. Prospección Sísmica

La sísmica es un proceso geofísico que consiste en crear temblores artificiales de tierra, con el uso de explosivos que causan ondas con las que se hace una ecografía del subsuelo, donde aparecen las diversas estructuras existentes, incluyendo estructura que potencialmente pueden almacenar hidrocarburos (Bravo 2007).

Entre los impactos identificados durante los estudios sísmicos, se incluyen:

- Deforestación por la apertura de la trocha, construcción de helipuertos y de campamentos provisionales. Este impacto varía en función de la cobertura vegetal presente a lo largo de la trocha y del número de helipuertos construidos.
- Impactos indirectos pues la apertura de trochas crea nuevas vías de acceso para la colonización.
- Contaminación por ruido es otro impacto de las actividades sísmicas. Durante la prospección sísmica se producen niveles de ruido de gran magnitud.

2.7.2. Perforación

Luego de la prospección sísmica, y una vez que se inicia la perforación, se empieza a generar desechos contaminantes, siendo los más importantes los cortes y lodos de perforación. Durante la perforación básicamente se tritura la roca, a profundidades que pueden llegar hasta unos 6 kilómetros, produciendo un tipo de desechos llamados cortes de perforación (Bravo 2007).

Impactos generados:

- Deforestación.
- Pérdida de la biodiversidad, erosión del suelo.
- Interrupción de flujos de agua, uso de recursos naturales (flora y fauna).
- Generación de residuos contaminantes provenientes de los cortes y lodos de perforación.

- Ruido y vibraciones, lo que puede producir impacto en el comportamiento en la fauna.

2.7.3. Extracción

La primera fase de la extracción es exploratoria, para evaluar el tamaño de las reservas presentes. Una vez perforado el pozo, se extrae una cantidad de crudo diariamente. El crudo extraído (desechos de pruebas) es colocado en la piscina de desecho, contribuyendo aún más a la contaminación presente en esas piscinas. Una vez declarada su viabilidad comercial, se incrementa el número de pozos y con ello su impacto ambiental (Bravo 2007).

Impactos generados:

- Aguas de formación: Este tipo de aguas posee concentraciones de salinidad y temperaturas que afecta a los organismos acuáticos cuando entran en contacto.
- Contaminación por los químicos utilizados en el proceso de extracción.
- Gas Asociado: Las principales emisiones atmosféricas son: Metano, Etano, Butano, Propano, Hidrógeno, Helio y Argón, Hidrocarburos, Aromáticos Volátiles, Óxido de Nitrógeno, Dióxido de Sulfuro, Ozono, Monóxido de Carbono.

2.7.4. Transporte: (Oleoductos y Carreteras)

El crudo extraído de los pozos petroleros es transportado por oleoductos a una infraestructura central donde es tratado.

Impactos generados:

- Deforestación, ya que se tiene que talar grandes extensiones de terreno para colocar miles de kilómetros de oleoductos. Los oleoductos y líneas de flujo pueden estar enterradas o están tendidos en la superficie y son una fuente constante de contaminación, ya sea por rupturas accidentales o por goteo rutinario (Bravo 2007).
- Para la construcción del oleoducto y su mantenimiento, así como para servir a toda la industria petrolera, se necesita abrir carreteras, lo que implicará talar los bosques que se encuentren en el camino (Bravo 2007).

2.8. IMPACTOS DE LA DEFORESTACIÓN EN LOS BOSQUES TROPICALES

La deforestación es un impacto ambiental importante en cada una de las etapas de la actividad petrolera. En mayor o menor grado siempre se ve implicada la tala forestal por la apertura de caminos para transporte, construcción de infraestructuras, helipuertos etc. Esto que trae consigo varias consecuencias tales como:

- **Pérdida de Hábitat**

El primer impacto cuando se tala un bosque primario es la pérdida de hábitats. Es decir, la desaparición masas boscosas, poniendo en peligro especies vegetales y animales de alto endemismo o poblaciones vegetales (Bravo 2007).

- **Pérdida de nichos ecológicos y efecto en cadena a nivel de la cadena trófica**

Cuando se tala un bosque no desaparecen sólo los árboles sino una serie de otros organismos que dependen de la vegetación para sobrevivir, con quienes mantienen relaciones simbióticas muy estrechas (Bravo 2007).

Por ejemplo, en los troncos de los árboles crecen especies epífitas, lianas, bejucos, que desaparecen con los árboles. Hay comunidades muy complejas de microorganismos descomponedores, endofitas, que a su vez mantienen interacciones con insectos y otros invertebrados (Bravo 2007).

- **Erosión del suelo**

Cuando la cubierta vegetal en una zona boscosa desaparece, el suelo se queda desnudo a expensas de la lluvia. En el Norte de la Amazonía Ecuatoriana, donde se ha desarrollado el porcentaje más alto de la actividad petrolera en el país, se registran precipitaciones de 2.500 mm al año como promedio (Bravo 2007).

Los acuíferos y corrientes cercanos a la zona deforestada pueden afectarse por la erosión, sedimentación y patrones de flujo alterados.

- **Fragmentación de Poblaciones**

La deforestación también actúa como barreras para muchas especies, fragmentando sus poblaciones. Una población que vive en un hábitat original se ve reducido a un tamaño total más pequeño, esto quiere decir que son divididos en poblaciones múltiples. Por ejemplo, muchos mamíferos tropicales no

atraviesan por zonas que han sido deforestadas, lo que puede crear poblaciones aisladas que son propensas a extinciones, especialmente cuando se trata de poblaciones pequeñas (Bravo 2007).

2.9. CLASlite

El software CLASlite fue creado por el Departamento de Ecología Global de la Carnegie Foundation for Science, la cual es una organización privada que lleva a cabo investigaciones básicas para el beneficio de la humanidad; realizan estudios sobre las interacciones entre los ecosistemas de la Tierra, suelos, atmósfera y océanos, con el objetivo de entender las formas en que estas interacciones dan forma al sistema terrestre, incluyendo sus respuestas a los cambios futuros.

Este software pretende ayudar a gobiernos e instituciones académicas con el estudio de sus bosques tropicales ya que estas entidades podrán:

- Complementar sus herramientas ambientales con una poderosa tecnología de sensores remotos automatizada y amigable.
- Mapear, monitorear y cuantificar el recurso boscoso desde una computadora personal
- Compartir información, mejores prácticas y retroalimentación con la comunidad *CLASlite*, de forma colectiva e individual, incrementando la eficacia del monitoreo de bosques

El Sistema de Análisis Landsat de Carnegie – Lite (*CLASlite*) es un paquete de software diseñado para la identificación, altamente automatizada, de la deforestación y degradación de bosques a partir de imágenes de satélite de sensores remotos. Asner *et al.* (2009) describen las funcionalidades de este software y su base científica, las cuales son reproducidas a continuación adaptando el texto original.

La investigación en sensores remotos biofísicos y trabajo de campo ofrecen un enfoque de mapeo satelital automatizado para determinar uno de los más importantes componentes de la estructura del bosque: la *cobertura fraccional* del dosel del bosque, vegetación muerta y superficies expuestas. Estas coberturas fraccionales son las determinantes principales de la composición, fisiología, estructura, biomasa y procesos biogeoquímicos del ecosistema.

El análisis de la cobertura fraccional es el corazón de *CLASlite*, es lo que lo hace una herramienta poderosa, estable y de base biofísica que permite un monitoreo de bosques rápido con rastreo de errores.

Actualmente, *CLASlite* soporta entradas de ocho sensores satelitales diferentes: Landsat 4 y 5 Thematic Mapper, Landsat 7 Thematic Mapper Plus, SPOT 4, SPOT 5, NASA ASTER, NASA Advanced Land Imager (ALI), y Landsat 8 OLI/TIRS.

La figura 9 muestra la carátula inicial de presentación del software *CLASlite* con sus diferentes funciones.



Figura 9 Presentación del software CLASlite (Asner 2009).

2.9.1. Funciones de *CLASlite*

CLASlite incluye funciones básicas para la extracción de información de cobertura terrestre a partir de datos satelitales crudos, que generan imágenes y mapas que apoyan los esfuerzos de monitoreo de bosques. Estos procesos incluyen la Calibración de imágenes crudas a reflectancia superficial aparente; Segregación Espectral Automatizada Monte Carlo (AutoMCU) de data de reflectancia a cobertura fraccional; clasificación de la data de cobertura fraccional en un mapa de cobertura boscosa y detección de cambios con data de cobertura fraccional multi-temporal para mapeo de deforestación y perturbación del bosque.

La figura 10 muestra detalladamente la sistemática del software.

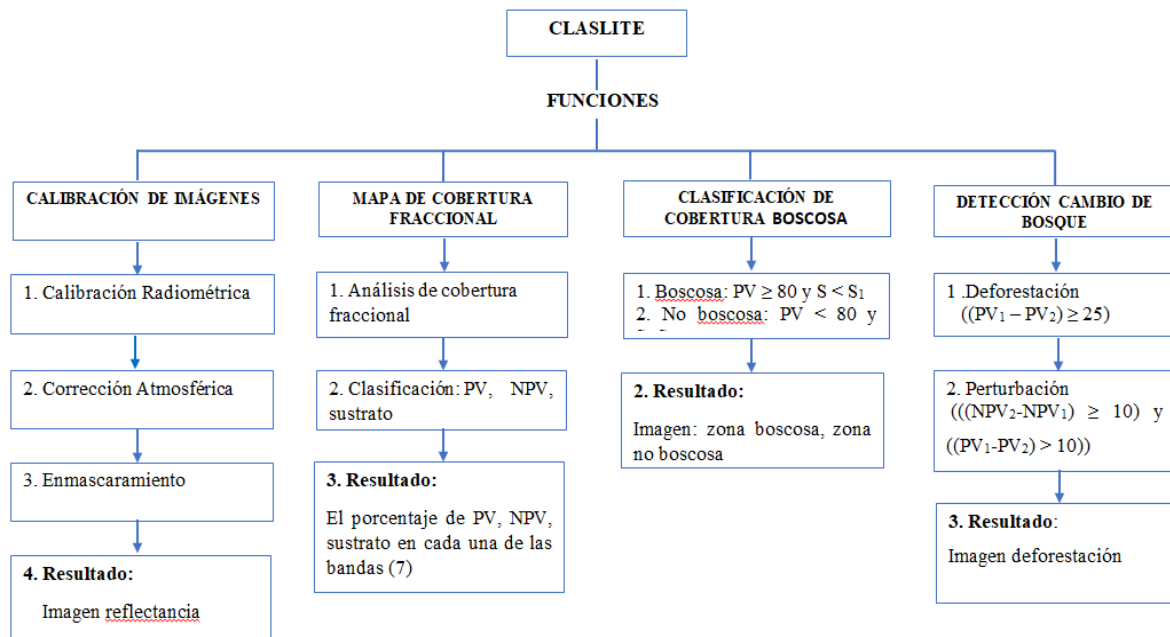


Figura 10 Procesos de CLASlite (Asner 2009).

2.9.2. Pasos que realiza CLASlite

Paso 1 Calibración a Reflectancia

- **Calibración radiométrica**

Cuando un sensor satelital registra datos, detecta la energía reflejada de la superficie terrestre y de la atmósfera entre la superficie y el cabezal del sensor. Esta data se colecta a través del sistema de imágenes y se almacena de forma digital a bordo y/o se transmite a estaciones receptoras en tierra (Asner *et al.* 2009). Sin embargo, para poder usar una imagen cuantitativamente, la data registrada en cada píxel debe calibrarse con unidades de números digitales o de conteo, a unidades de energía reflejada. Este proceso es llamado *calibración radiométrica*. El resultado de la calibración radiométrica es una imagen en unidades de radiancia, es decir, vatios por metro cuadrado por unidad de ángulo sólido, también conocido como la energía medida por el sensor satelital.

- **Corrección Atmosférica**

La data radiométrica contiene información acerca de la superficie terrestre y de su atmósfera. De esta forma, para trabajar con vegetación (data de la superficie), es

necesario minimizar la contribución de la atmósfera a los valores de cada píxel en la imagen de satélite. Esto se logra a través de un proceso llamado corrección atmosférica, que minimiza el efecto del vapor de agua (humedad), aerosoles (del polvo, volcanes, etc.) y otros factores.

Para aplicar la corrección atmosférica, *CLASlite* usa el modelo 6S de transferencia radiativa, que simula la atmósfera de la Tierra en cada imagen de satélite, modela el efecto de la atmósfera en la luz solar a medida que pasa a través de la atmósfera, interactúa con la superficie terrestre y regresa a través de la atmósfera al sensor satelital. La imagen cruda entonces se corrige removiendo el modelo estimado de la atmósfera.

- **Enmascaramiento**

El mapeo con sensores satelitales ópticos requiere de data de radiancia para determinar la reflectancia de cada píxel. Ningún sensor satelital puede coleccionar esta información de radiancia en la superficie terrestre a través de las nubes, o en las sombras causadas por los terrenos de alta pendiente. De esta forma, las nubes y sus sombras, así como las sombras del terreno deben excluirse del análisis de la imagen. Éstas, así como los cuerpos de agua, se enmascaran automáticamente en cada imagen.

- **Resultado**

El resultado de la imagen de calibración de *CLASlite* es una imagen de reflectancia, que provee bandas espectrales a partir de data cruda a reflectancia superficial aparente. El número de bandas varía según el sensor (por ejemplo, Landsat: 6 bandas de reflectancia; SPOT: 4 bandas, etc.).

Paso 2 AutoMCU para Cobertura Fraccional

Los diferentes tipos de cobertura de la superficie de la Tierra tienen diferentes propiedades de reflectancia. En otras palabras, cada componente de la superficie de la Tierra tiene una firma espectral.

El AutoMCU, o Segregación Espectral Automatizada Monte Carlo, ofrece un análisis cuantitativo de la cobertura fraccional o porcentual (0-100%) de la vegetación viva, muerta y el sustrato expuesto dentro de cada píxel satelital.

La vegetación viva se denomina técnicamente Vegetación Fotosintética (PV) pues la vegetación viva mantiene propiedades espectrales únicas asociadas con los pigmentos fotosintéticos de la hoja, contenido de agua del dosel, y la cantidad de follaje en el dosel.

La fracción de vegetación muerta o senescente se denomina Vegetación No Fotosintética (NPV), que se expresa en el espectro como material de superficie brillante con características espectrales asociadas con compuestos secos de carbono en hojas muertas y madera expuesta. Finalmente, el sustrato expuesto generalmente está dominado por suelos minerales expuestos, pero también pueden ser rocas o infraestructura de origen antropogénico.

Este método requiere de “bibliotecas” de caracteres espectrales puros para cada uno de los tres tipos relevantes de cobertura de superficie: sustrato expuesto, vegetación fotosintética y vegetación no fotosintética. Los caracteres espectrales puros son espectros de referencia que se escogen como los representantes puros de un material de superficie dado. Estas bibliotecas, derivadas de extensas bases de datos de campo e imágenes de satélite, se usan para descomponer cada píxel de una imagen.

- **Resultado**

La salida del AutoMCU en *CLASlite* es una imagen de 7 bandas que contiene información sobre la cobertura fraccional de la PV, NPV y sustrato expuesto, estimaciones de incertidumbre para cada fracción de cobertura, y el error total para cada píxel en la imagen.

La tabla 3 contiene las bandas de Imágenes de Cobertura Fraccional.

Banda 1	Cobertura fraccional (en %) de sustrato expuesto (S)
Banda 2	Cobertura fraccional (en %) de vegetación fotosintética (PV)
Banda 3	Cobertura fraccional (en %) de vegetación no fotosintética (NPV)
Banda 4	Incertidumbre de la fracción S, expresada como la desviación estándar de las iteraciones de AutoMCU
Banda 5	Incertidumbre de la fracción PV, expresada como la desviación estándar de las iteraciones de AutoMCU
Banda 6	Incertidumbre de la fracción NPV, expresada como la desviación estándar de las iteraciones de AutoMCU
Banda 7	Error total, expresado como el RMSE de la firma de reflectancia modelada vs. Observada

Tabla 3 Bandas de cobertura fraccional.

Paso 3 Clasificación de la Cobertura Boscosa

En este paso *CLASlite* clasifica la cobertura boscosa de la cobertura no boscosa (pastizales, matorrales) a partir de patrones y orientación espacial de las imágenes. Para esto se utiliza el siguiente árbol de decisiones:

- Bosque: $PV \geq 80$ y $S < S_{val}$
- Área no boscosa: $PV < 80$ y $S > S_{val}$

donde:

PV: fracción de cobertura de vegetación fotosintética en el píxel

S : fracción de sustrato expuesto en el píxel

S_{val} : valor umbral de la fracción de sustrato expuesto en el píxel

Paso 4: Detección del Cambio del Bosque

CLASlite incluye la capacidad totalmente automatizada para detectar el cambio del bosque entre una serie temporal de imágenes tomadas en la misma área geográfica en un período de tiempo. El análisis multi-imagen es el enfoque más preciso para la detección de la pérdida de bosque (deforestación), ganancia (crecimiento secundario) o degradación (áreas con perturbaciones boscosas persistentes).

Para mapear el cambio del bosque, cálculo de píxeles de deforestación y perturbación, *CLASlite* emplea los siguientes árboles de decisión para cada par de imágenes, donde los subíndices 1 y 2 indican imágenes de un año al siguiente.

- **Deforestación:**

$$((PV_1 - PV_2) \geq 25)$$

$$\text{ó } ((S_1 \leq 5) \text{ y } ((S_2 - S_1) \geq 15))$$

$$\text{ó } ((PV_2 < 80) \text{ y } ((NPV_2 - NPV_1) \geq 20)))$$

La disminución de PV captura la mayor parte de la deforestación.

El incremento de S captura la deforestación seguida por el crecimiento secundario temprano.

Incremento de NPV captura deforestación

- **Perturbación**

$$(((NPV_2 - NPV_1) \geq 10) \text{ y } ((PV_1 - PV_2) > 10)) \text{ ó } ((S_1 \leq 5) \text{ y } ((S_2 - S_1) > 10) \text{ y } (S_2 \leq 15)))$$

donde:

PV_i = Imagen de la fracción de vegetación fotosintética año i (1 o 2)

NPV_i = Imagen de la fracción de vegetación no fotosintética año i (1 o 2)

S_i = Imagen de la fracción de sustrato expuesto año i (1 o 2)

- **Salida**

La salida del Paso 4 de *CLASlite* es un par de mapas clasificados que representan la deforestación y la perturbación del bosque. Si se usan más de dos imágenes, los archivos de salida representan la deforestación para todos los intervalos examinados de la serie de tiempo elegida. Se guarda un archivo con la leyenda junto con los archivos deforestación y perturbación, indicando el intervalo durante el cual se detectó cada evento de cambio

En la figura 11 podemos observar un ejemplo de cambios de cobertura boscosa.

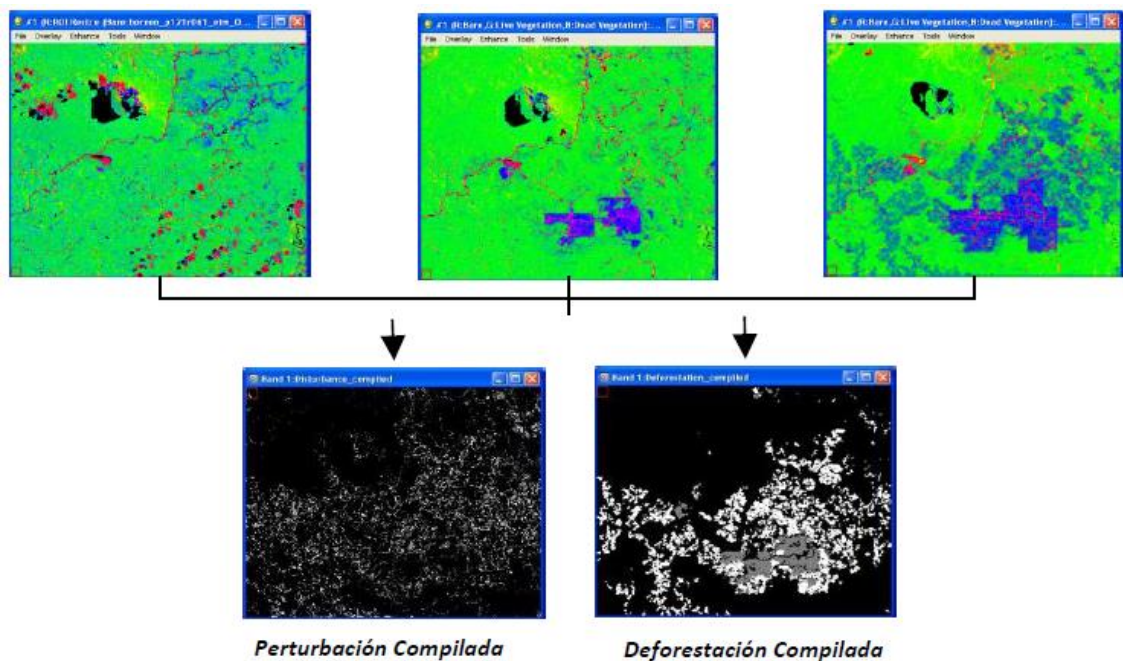


Figura 11 Detección de Cambio del Bosque (Asner et al.2009).

3. CASO DE ESTUDIO

3.1. Metodología

La metodología desarrollada en el estudio se encuentra dividida en seis partes. A continuación se explica detalladamente cada una de ellas

3.1.1. Selección de imágenes

Para seleccionar las imágenes de estudio del Parque Nacional Yasuní, centradas en las coordenadas 0° 46' 12" S, 76° 6' 0" W, en las provincias de Pastaza y Orellana (Ecuador), se realizó un estudio cronológico de los diferentes bloques petroleros instalados en el parque, desde los inicios de la explotación petrolera (1985) hasta la actualidad (2017).

CLASlite está diseñado especialmente para imágenes de la serie Landsat, aunque puede utilizar otros tipos de imagen (SPOT, ASTER). Las imágenes descargadas fueron imágenes Landsat con el mismo path (008) y mismo row (061) de la página del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

En la figura 12 podemos observar la imagen satelital del PNY (USGS 2017).

La tabla 4 muestra los años en los que fueron seleccionadas las imágenes para el estudio.

Año imagen seleccionada	Año de explotación	Bloque petrolero
1985	1986	14, 16, 17
2003	2004	31
2012	2013	43
2017	Estado Actual del Parque Nacional Yasuní	

Tabla 4 Años de las imágenes seleccionadas

Se seleccionaron las imágenes un año antes de la fecha en que fueron instalados los diferentes bloques petroleros con el fin de conocer el estado en que se encontraba la cobertura forestal previo a la explotación petrolera de cada bloque, lo que permitió obtener datos de la deforestación causada por esta actividad.

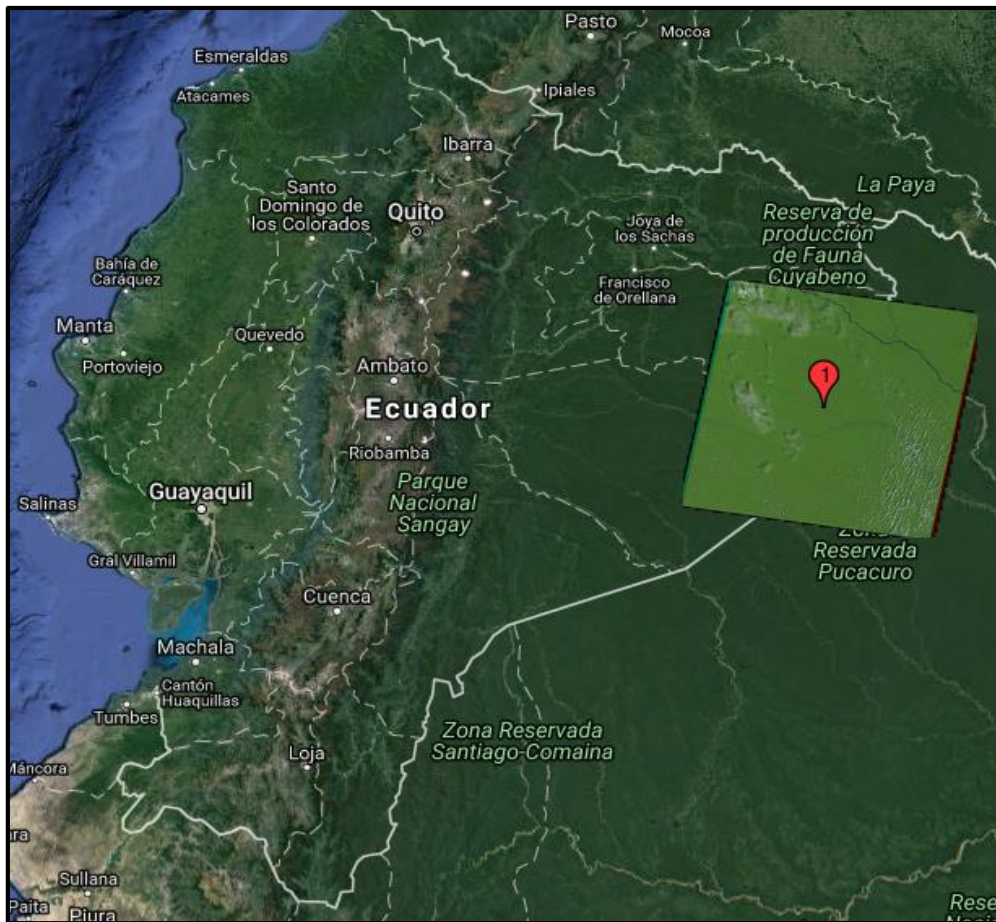


Figura 12 Imagen satelital del Parque Nacional Yasuní (USGS 2017).

3.1.2. Procesamiento de las imágenes seleccionadas en el software CLASlite.

Una vez descargadas las imágenes éstas fueron ingresadas al software *CLASlite*, y se procesaron siguiendo sus cuatro pasos clave:

1. Calibración de imágenes brutas a reflectancia aparente de la superficie.
2. Análisis espectral de los datos de reflectancia, mediante la aplicación el modelo “Automated Monte Carlo Unmixing” (AutoMCU), para determinar la cobertura fraccional de suelo desnudo de vegetación, de vegetación fotosintéticamente activa y de vegetación fotosintéticamente no activa.
3. Clasificación de los datos de cobertura fraccional en un mapa de cubierta boscosa (superficie ocupada con más del 10% por copas de árboles y con un área de más de 0,5 ha), y en un mapa de perturbación (disminución difusa del dosel del bosque).
4. Detección de cambios con datos multi-temporales de la cubierta fraccional y, finalmente, elaboración del mapa de deforestación del bosque.

3.1.3. Creación de un falso color (QGIS)

Se realizó un falso color con el fin de analizar elementos específicos (deforestación, vegetación, masas de agua) de la superficie terrestre en función de su espectro de emisión.

Se realizaron combinaciones específicas de las bandas RGB que ayudaron a discriminar elementos de las imágenes de forma rápida.

Para seleccionar la combinación RGB se tomó en cuenta los siguientes parámetros:

- Tipo de satélite, ya que se trabajó con imágenes de Landsat 4-5 TM y Landsat 8 OLI/TIRS
- Longitud de onda

Posterior a esto, se investigó en bibliografía las firmas espectrales que se pueden apreciar en las diferentes bandas en función de los dos parámetros anteriormente descritos. La tabla 5 contiene las características de las diferentes bandas (Instituto Nacional de Estadística y Geografía 2014).

Landsat 4-5 TM		Landsat 8 OLI/TIRS		Características
Banda	Longitud de onda (µm)	Banda	Longitud de onda (µm)	
		1	0.435-0.451	Estudios costeros y aerosoles
1 (Azul)	0.441-0.514	2 (Azul)	0.452-0.512	Diferencia bosques de agricultura Detecta centros poblacionales
2 (Verde)	0.519-0.601	3 (Verde)	0.533-0.590	Vegetación vigorosa o saludable Identificación de centros poblados
3 (Rojo)	0.631-0.692	4 (Rojo)	0.636-0.673	Banda de absorción de clorofila (discriminar tipos de vegetación)
4 (NIR)	0.772-0.898	5 (NIR)	0.851-0.879	Determina la cantidad de biomasa presente en un área Contrasta zonas de agua-tierra, suelo-vegetación
5 (SWIR 1)	1.547-1.749	6 (SWIR 1)	1.566-1.651	Sensible a la cantidad de agua en las plantas
6 (TIR)	10.31-12.36	10	10.60-11.19	Detección de vegetación enferma
		11 (TIR- 2)	11.50-12.51	Temperaturas precisas de la superficie
7 (SWIR 2)	2.064-2.345	7 (SWIR 2)	2.107-2.294	Discriminación de tipos de rocas
8	0.515-0.896	8	0.503-0.676	Todo lo visible integrado ("pancromático")
		9 (Cirrus)	1.363-1.384	Detección de cirrus

Tabla 5 Características de las bandas espectrales (Instituto Nacional de Estadística y Geografía 2014).

Considerando las firmas espectrales que se pueden observar en cada uno de los sensores, y que el objetivo es apreciar el comportamiento forestal durante los diferentes años, se decidió hacer las combinaciones de bandas (RGB) que reúne la tabla 6.

	Landsat 4-5 TM	Landsat 8 OLI/TIRS
Color natural	3, 2, 1	4, 3, 2
Falso color	7, 4, 2	7, 5, 3

Tabla 6 Combinación RGB.

Las imágenes fueron ingresadas al software QGIS, y se realizó el siguiente proceso:

- a) Se desplegó la ventana” construir un ráster virtual”. La figura 13 muestra la información de la ventana “construir un ráster virtual” (QGIS)

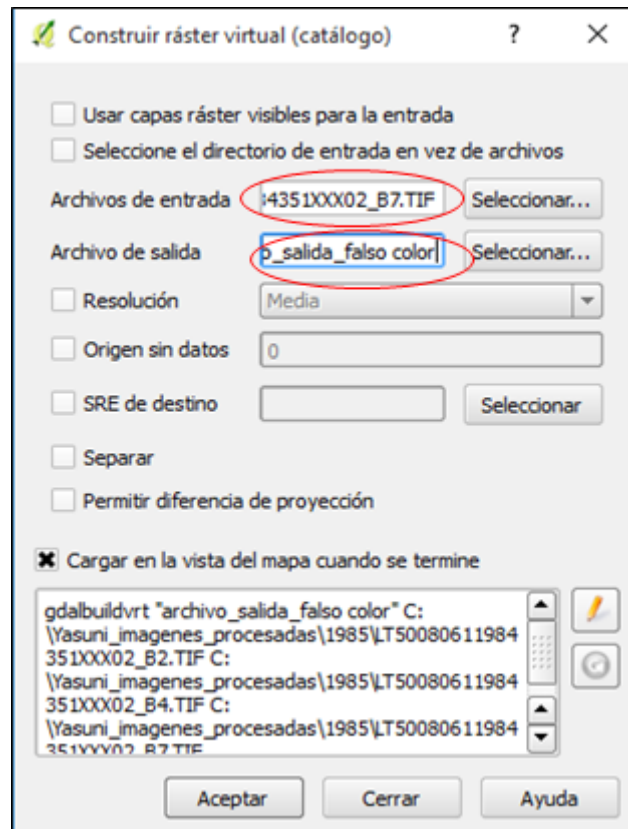


Figura 13 Creación ráster virtual

- b) Se ingresaron las bandas B1, B2, B3 en el archivo de entrada de la ventana “creación de un ráster virtual”. En la figura 14 podemos observar los archivos de las bandas B1, B2, B3.

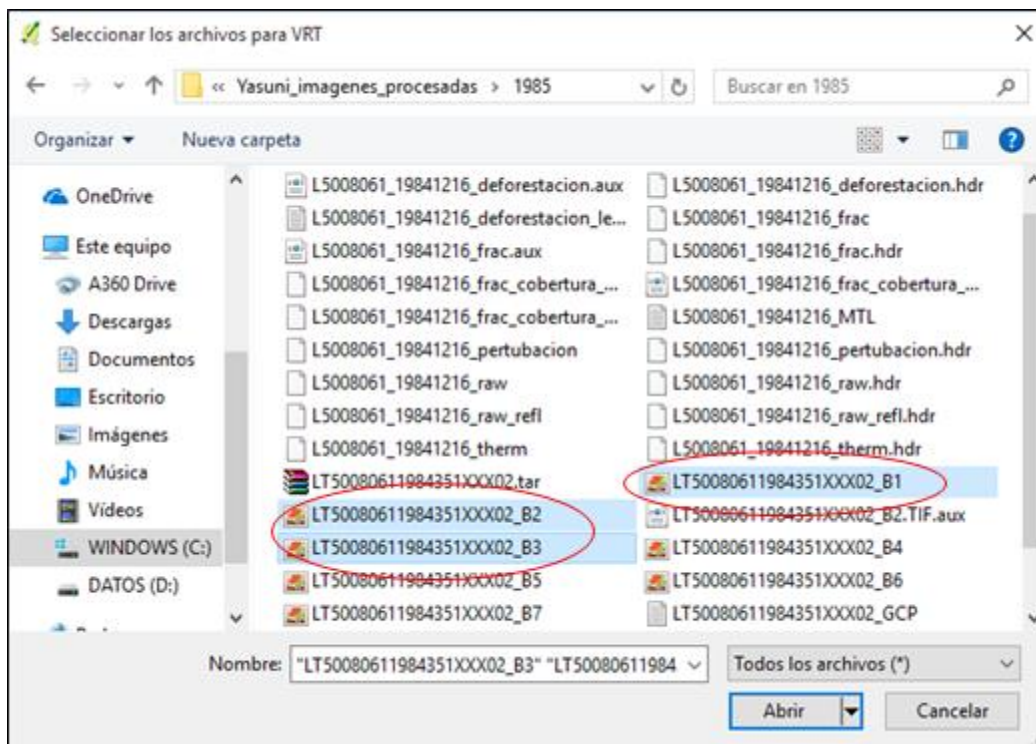


Figura 14 Selección de las bandas color natural

- c) Se ingresaron las bandas B1, B4, B7 en el archivo de salida de la ventana “creación de un ráster virtual” y seleccionamos la opción aceptar. En la figura 15 podemos observar los archivos de las bandas B1, B2, B3.

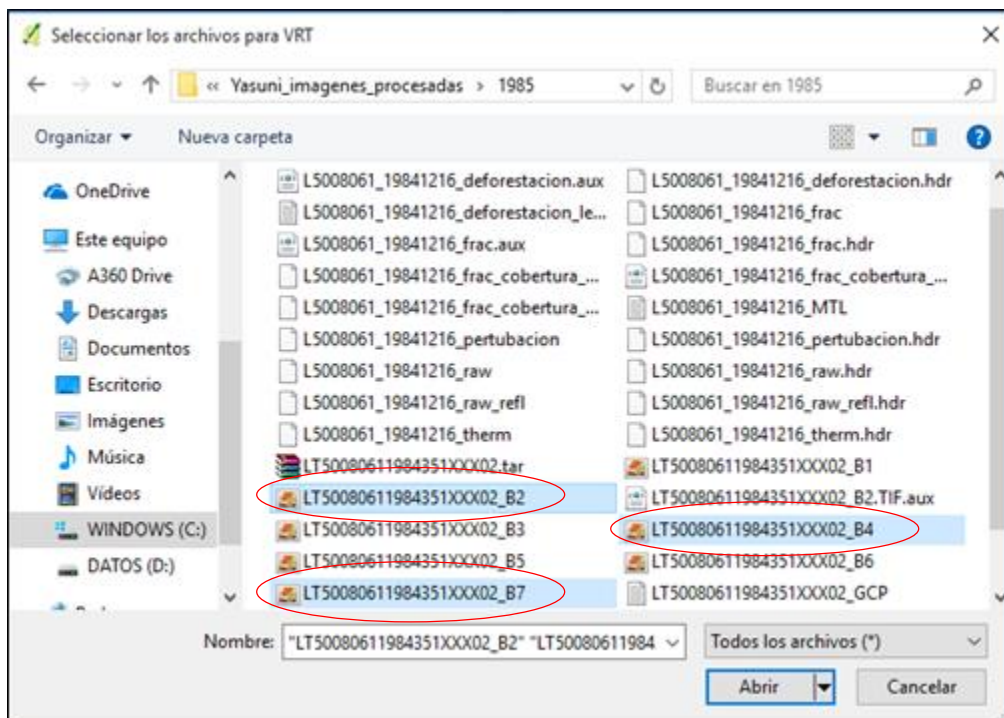


Figura 15 Selección de las bandas falso color.

3.1.4. Creación de una máscara (QGIS)

Debido a que se necesitaba tener exclusivamente el perfil del Parque Nacional Yasuní se creó una máscara para lo cual se siguió el siguiente procedimiento.

- Se carga en QGIS el shp de las áreas protegidas de Ecuador. En la figura 16 se puede observar el shp de las áreas protegidas de Ecuador.

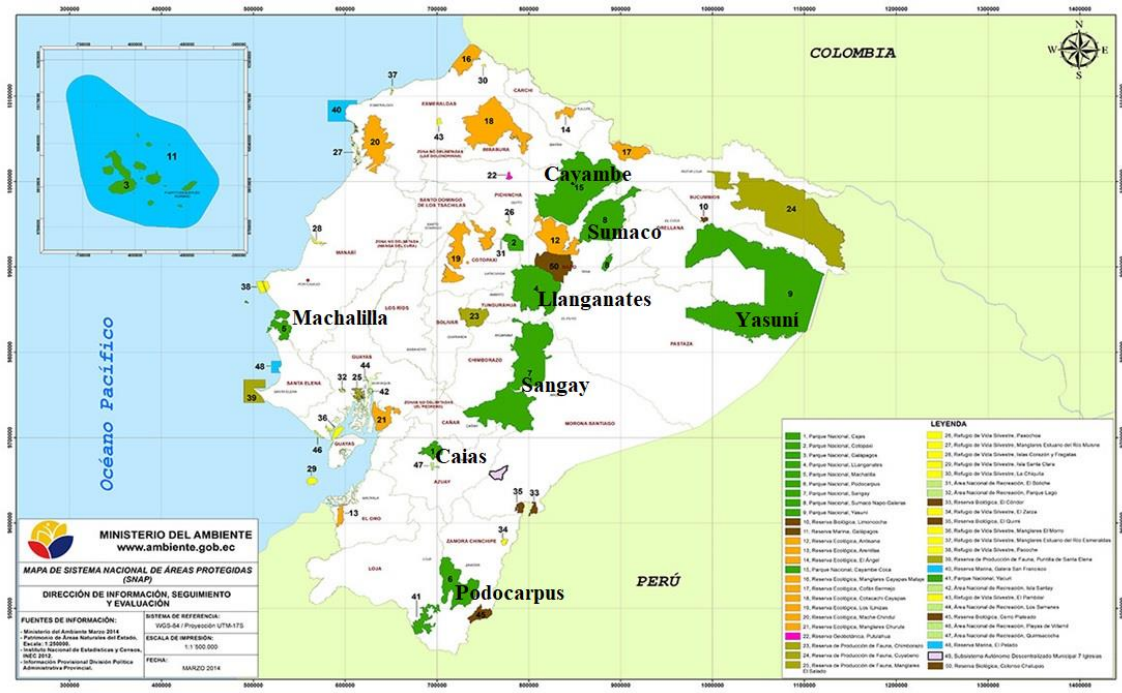


Figura 16 Sistema Nacional de áreas protegidas de Ecuador.

- Se despliega la ventana “Clipper” en QGIS. Esta opción Clipper **sirve** para cortar el archivo ráster al tamaño deseado manteniendo las propiedades del original.
- En el opción de entrada de “Clipper” se ingresa el archivo cobertura boscosa resultante del proceso realizado en el software *CLASlite* (figura 17).
- En la opción de salida de “Clipper” se selecciona el nombre, el formato y la ubicación donde se va a crear el nuevo archivo de recorte.
- Se selecciona la opción capa ráster con el fin de recortar exclusivamente el perfil de la zona petrolera y zona intangible del PNY

Se siguieron los mismos pasos para cada una de las imágenes.

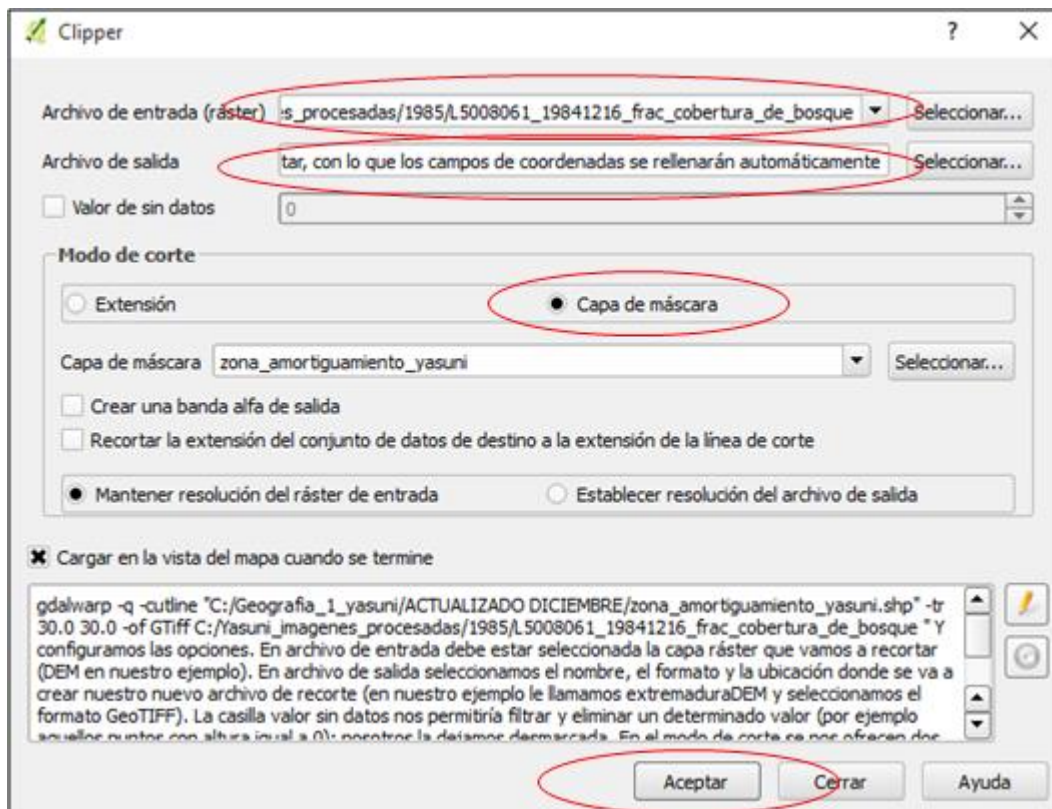


Figura 17 Creación archivo (máscara).

La figura 18 muestra el ráster de cobertura fraccional del año del 1985 del PNY.

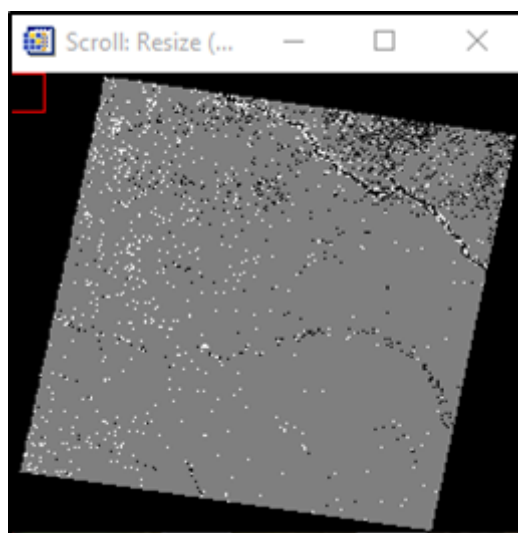


Figura 18 Ráster cobertura fraccional 1985 (CLASlite).

3.1.5 Identificación de los niveles de gris (ENVI)

Se ingresó la máscara de cobertura fraccional de la zona petrolera e intangible de los diferentes años al software ENVI para reconocer los niveles de gris.

Se siguió el siguiente procedimiento:

- Se ingresaron las máscaras al programa.
- Se desplegó la ventana “*cursor value*” y se hizo un barrido por toda la imagen con el fin de reconocer el DN.
- Una vez identificados los DN se distinguieron tres tipos de píxeles: píxeles enmascarados; cobertura boscosa y deforestación.

3.1.6. Estadística (ArcGIS)

La estadística de la deforestación se ha realizado con la ayuda del software ArcGIS, tomando como referencia los niveles de gris identificados en ENVI. Para ello, se siguió el siguiente procedimiento:

- Se cargan en ArcGIS los shp de la zona petrolera (figura 19) y de la zona intangible (figura 20) del PNY.

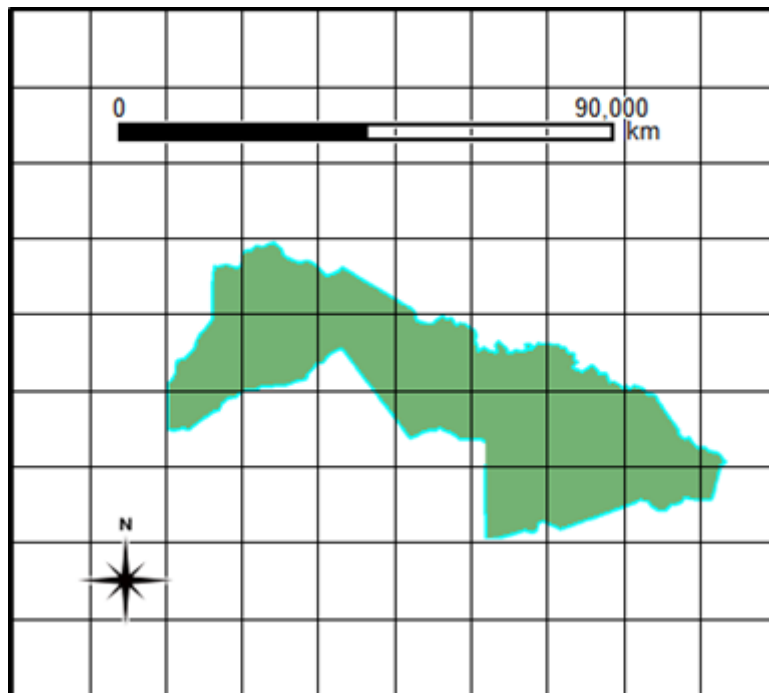


Figura 19 Zona petrolera Parque Nacional Yasuní.

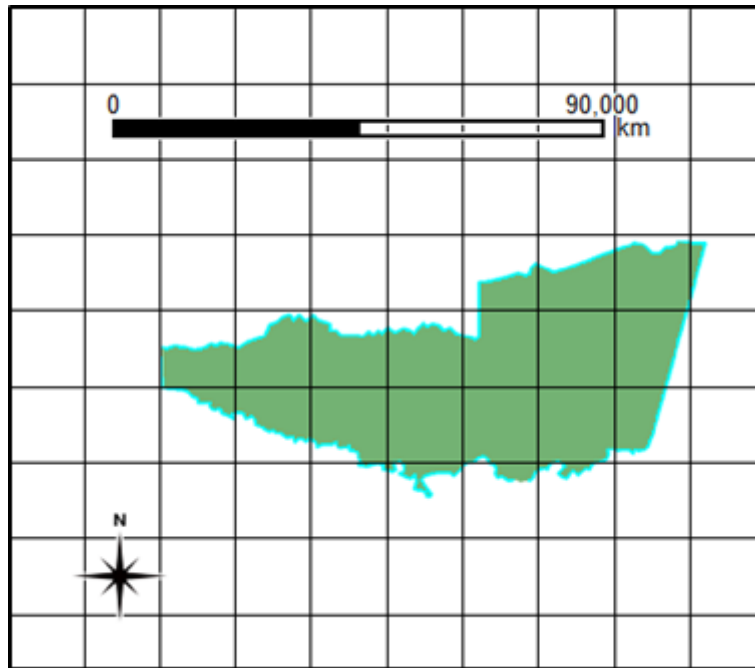


Figura 20 Zona intangible Parque Nacional Yasuní.

- Se cargan las máscaras de los diferentes años de cobertura fraccional boscosa.
- Se despliega la ventana de ArcToolbox y se selecciona la opción zonal Histogram.

En la figura 21 se puede observar la ventana en la que se ingresaron las imágenes para obtener el histograma.

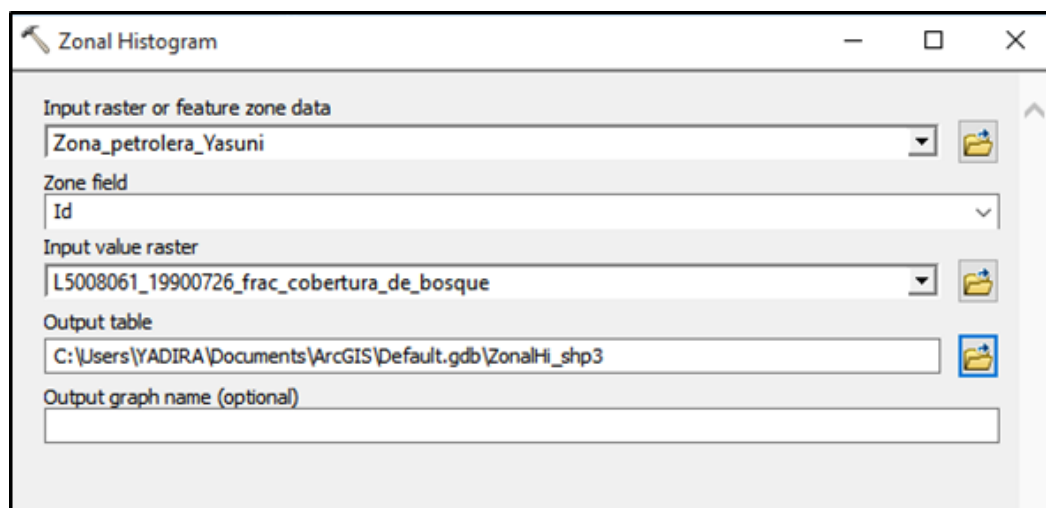


Figura 21 Histograma.

- Se ingresa el shp de la zona petrolera con el ráster de cobertura boscosa, y se hace lo mismo con la zona intangible.

- Se abre el histograma que generado antes y se ubica el número de píxeles para los diferentes niveles de gris.
- Se suma el número total de píxeles y este valor se toma como el universo, y se calcula la relación de porcentajes para cada uno de los DN.

Este procedimiento se realizó con cada una de las imágenes estudiadas

4. RESULTADOS

A continuación se muestra en un conjunto de figuras las imágenes de cobertura boscosa obtenidas tras la aplicación de *CLASlite*, las imágenes falso color que se han elaborado para una interpretación visual y cualitativa de la zona de estudio, las máscaras para la obtención de datos estadísticos , estas imágenes representan los cuatro años estudiados (1985, 2003, 2012 y 2017).

4.1. Imágenes procesadas por CLASlite

La figura 22 permiten comparar la cobertura fraccional boscosa del PNY de los años 1985, 2003, 2012 y 2017.

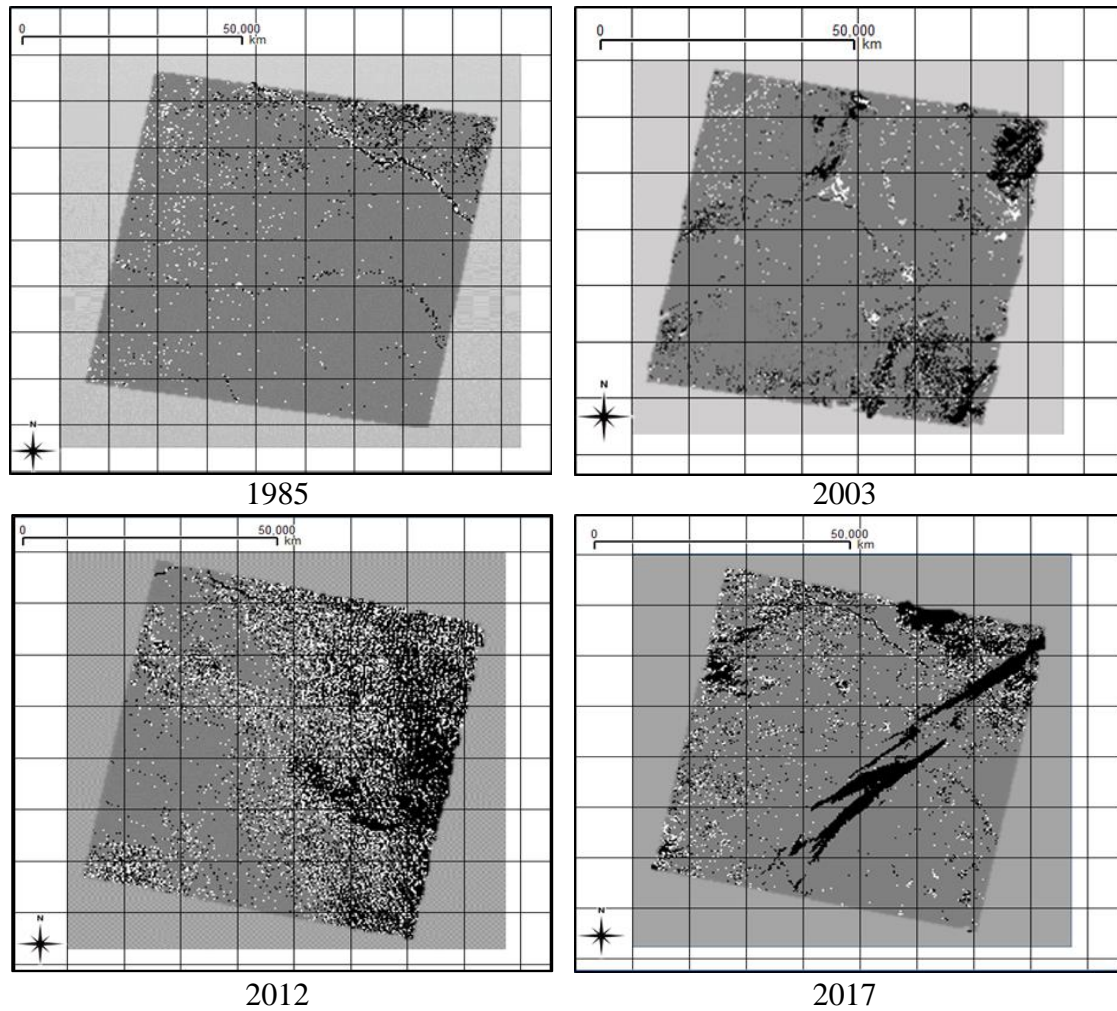


Figura 22 Cobertura boscosa del PNY en diferentes años.

4.2. Falso Color

La figura 23 permite comparar la imagen falso color del PNY de los años 1985, 2003, 2012 y 2017.

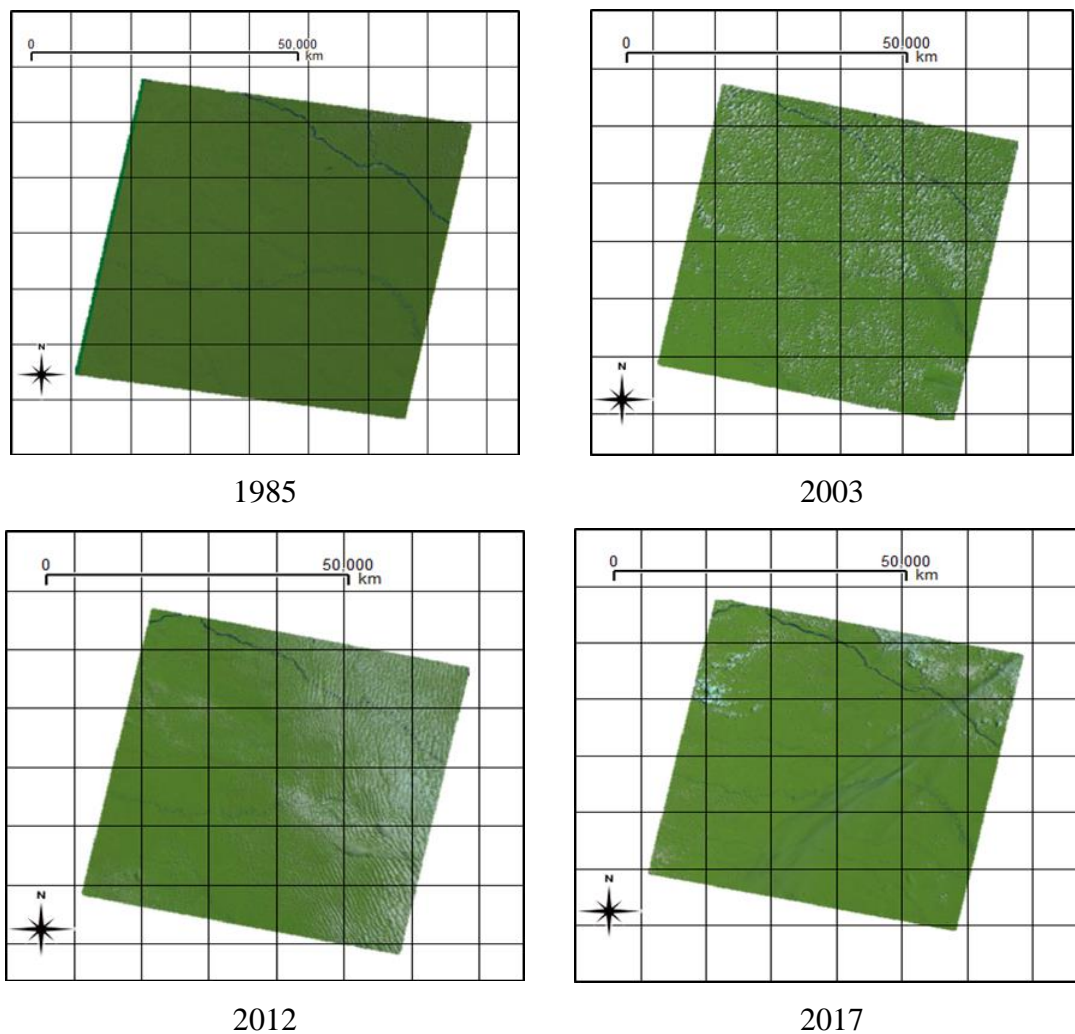


Figura 23 Falso color del PNY en diferentes años.

4.3. Máscara

La figura 24 permite comparar las máscaras utilizadas del PNY de los años 1985, 2003, 2012 y 2017.

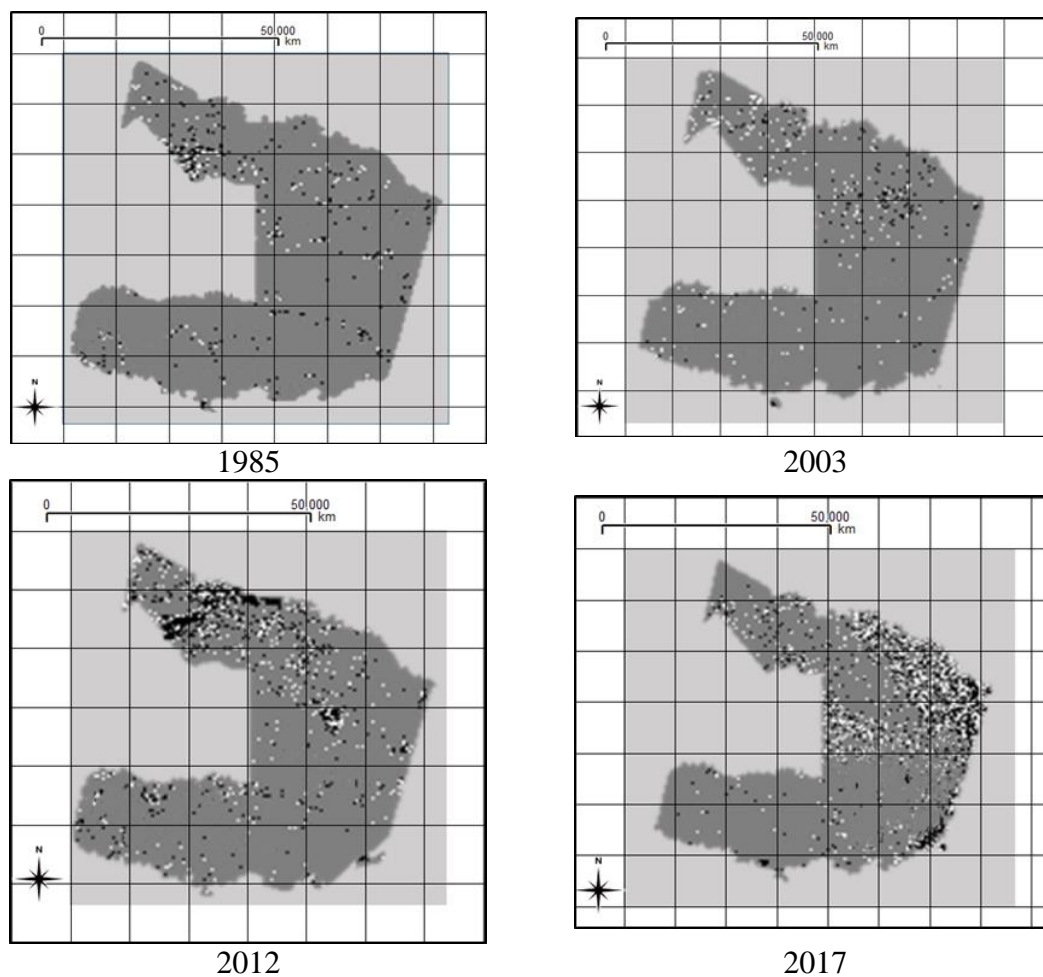


Figura 24 Máscaras del Parque Nacional Yasuní.

4.4 Niveles de gris identificados en ENVI

La tabla 7 muestra los niveles de gris (DN) asignados en las imágenes estudiadas.

Cobertura	DN	Color
Píxeles enmascarados	0	negro
Cobertura boscosa	1	gris
Deforestación	2	blanco

Tabla 7 Niveles de gris asignados a cada clase de cobertura.

4.5. Estadística

4.5.1. Zona petrolera

La tabla 8 muestra el número de píxeles de las diferentes coberturas.

Años	DN (0)	DN (1)	DN (2)	Nº píxeles
1985	24526	414215	125719	564460
2003	21545	379945	157674	559164
2012	23412	313106	239919	576437
2017	24215	300116	257151	581482

Tabla 8 Número de píxeles de las diferentes coberturas en la zona petrolera.

- Relación de porcentajes

La tabla 9 muestra los porcentajes de las coberturas de todos los años analizados para la zona petrolera.

Año	Píxeles enmascarados (%)	Cobertura boscosa (%)	Deforestación (%)
1985	4,3	73,80	22,20
2003	3,8	67,94	28,19
2012	4,1	54,30	41,62
2017	4,1	51,60	44,22

Tabla 9 Cálculo de porcentajes de coberturas en la zona petrolera.

La figura 25 muestra los cambios de coberturas forestales de la Zona petrolera. En ella puede observarse que desde el año de 1985 al 2017 la deforestación se incrementó de 22,20% a 44,22%, y la cobertura boscosa disminuyó de 73,8% a 51,60%.

El porcentaje de píxeles enmascarados es bajo por lo que se considera que no afectan al estudio.

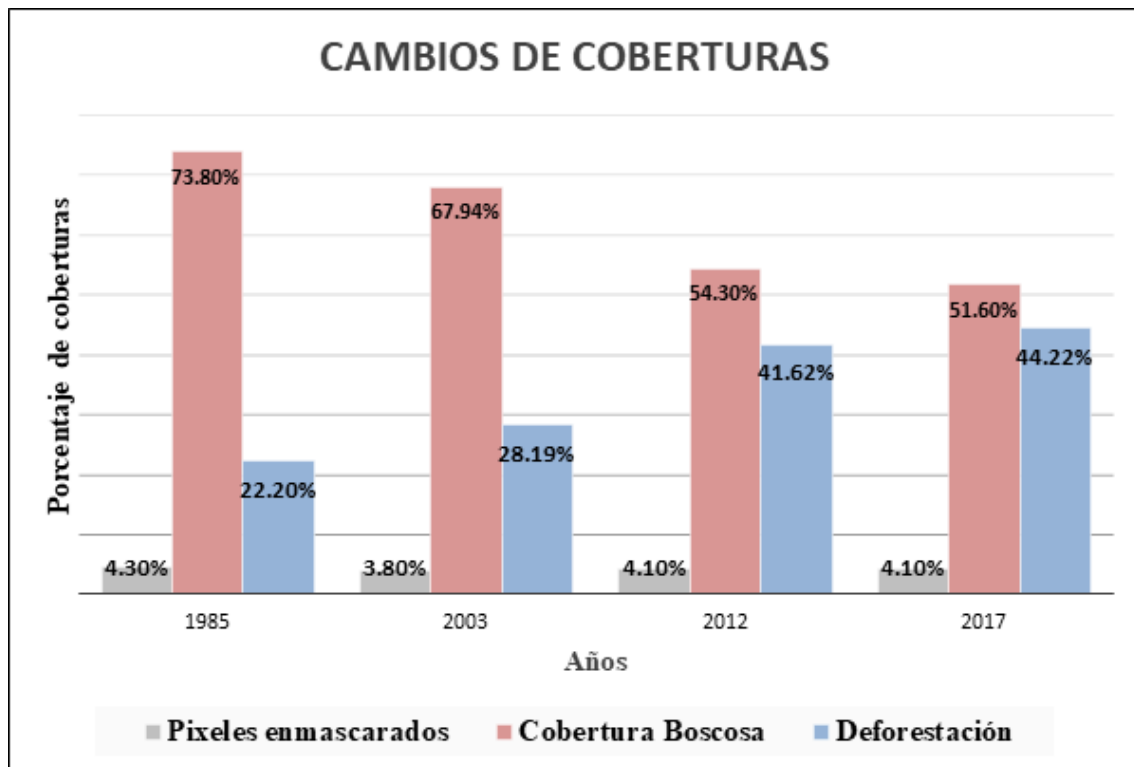


Figura 25 Cambios de cobertura Zona petrolera.

4.5.2. Zona intangible

La tabla 10 muestra el número de píxeles de las diferentes coberturas.

Años	DN (0)	DN (1)	DN (2)	Nº píxeles
1985	27156	456123	42873	526152
2003	29456	491048	48641	569145
2012	31123	469856	68157	569136
2017	32457	469898	74856	577211

Tabla 10 Número de píxeles de las diferentes coberturas en la zona intangible.

- Relación de porcentajes

La tabla 11 muestra los porcentajes de las coberturas de todos los años analizados para la zona petrolera.

Año	Píxeles enmascarados (%)	Cobertura boscosa (%)	Deforestación (%)
1985	4,6	86,60	8,10
2003	4,9	86,20	8,50
2012	5,3	82,50	11,90
2017	5,4	81,40	12,90

Tabla 11 Cálculo de porcentajes de coberturas en la zona intangible.

La figura 26 muestra los cambios de coberturas forestales de la Zona intangible. En ella se observa que desde el año de 1985 al 2017 la deforestación se incrementó de 8,14% a 12,90% y la cobertura boscosa disminuyó de 86,69% a 81,40%.

El porcentaje de píxeles enmascarados es bajo por lo que se considera que no afectan al estudio.

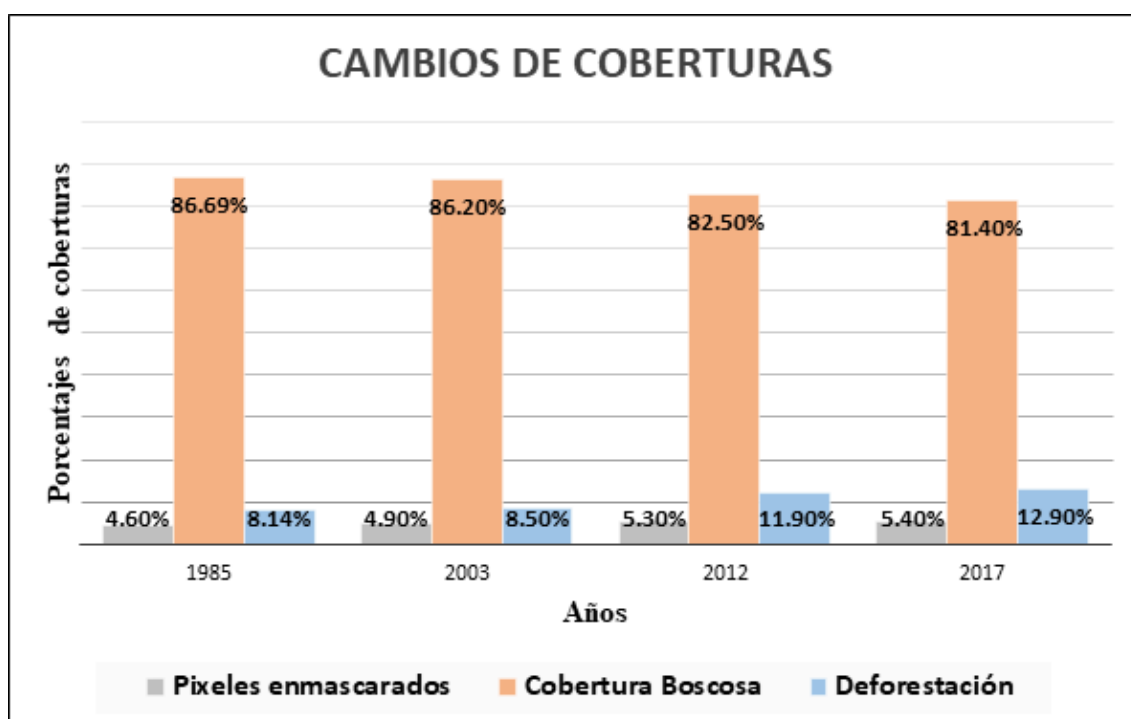


Figura 26 Cambios de coberturas en la Zona intangible.

5. CONCLUSIONES

- ❖ La deforestación en la zona petrolera del Parque Nacional Yasuní se ha incrementado notablemente desde 22,2 %, en el año de 1985 a 44,2%, en el 2017. La explotación de los bloques petroleros en estos años han generado un ritmo de deforestación constante lo que indica que no se han tomado las medidas necesarias para minimizar el impacto ambiental que genera la explotación del petróleo.
- ❖ La zona intangible habitada por los pueblos en aislamiento voluntario presenta un ritmo de deforestación bajo, ha ido de 8,14% el año de 1985 a 12,9% en el 2017. La protección de esta zona hasta la actualidad ha permitido conservar el lugar de mayor biodiversidad del parque y a respetar la decisión de los pueblos indígenas de permanecer en aislamiento.
- ❖ Para detectar cambios en la cobertura forestal *CLASlite* realiza una calibración radiométrica en la que convierte las unidades de números digitales a unidades de energía reflejada. Los datos que genera este proceso permite construir un mapa de cobertura fraccional en el que se puede distinguir suelo desnudo, cobertura fotosintética y cobertura no fotosintética. A partir de este mapa el software clasifica la cobertura boscosa de la no boscosa tomando como referencia umbrales establecidos en el sistema. Para la obtención del producto final *CLASlite* utiliza un árbol de decisiones en el cual discrimina la deforestación de la perturbación.
- ❖ La deforestación en el Parque Nacional Yasuní ha causado impactos ambientales negativos, poniendo en peligro especies vegetales y animales por la pérdida de los nichos ecológicos, El incremento de la deforestación ha fragmentado poblaciones dejándolas cada vez más expuestas a una posible extinción.
- ❖ Los pueblos en aislamiento voluntario Tagaeri y Taromenane cada día se encuentran más expuestos al contacto con el exterior por el incremento de la deforestación. La pérdida de cobertura boscosa ha limitado el territorio por el cual se movilizan estos grupos, dañando el equilibrio natural que estos indígenas mantienen. Si la deforestación sigue avanzando es cuestión de tiempo para que estos pueblos desaparezcan, perdiéndose con ellos biodiversidad, historia y cultura.

6. BIBLIOGRAFÍA:

- Álvarez Rogel, Y. (2011). Aplicación de tecnología S.I.G. al estudio del riesgo y prevención de incendios forestales en el área de Sierra Espuña-Gebas (Región de Murcia). A: *TDR (Tesis Doctorales en Red)* [en línea]. Universidad de Murcia, [Consulta: 27 juny 2017]. Disponible en: <http://www.tesisenred.net/handle/10803/10878>
- Andrea, C. (2012). *Las dificultades en la iniciativa ecuatoriana Yasuní-itt que propone una alternativa para el cambio climático: ¿inexactitudes políticas internas o falta de corresponsabilidad mundial?*. Pontificia universidad católica del Ecuador. [en línea][Consultado: 20 Agosto 2017] Disponible en: repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/5383
- Asner, G.; Tasar, E.; Sousan, A.; Knapp, D. (2006). Condition and fate of logged forests in the Brazilian Amazon. A: Vol. 103, núm. 34.
- Asner, G.; Tasar, E.; Sousan, A.; Knapp, D. (2009). Automated mapping of tropical deforestation and forest degradation: CLASlite. A: Vol. 3, núm. August, p. 1-24. DOI 10.1117/1.3223675.
- Asner, G.; Tasar, E.; Sousan, A.; Knapp, D. (2009). Automated mapping of tropical deforestation and forest degradation: CLASlite. A: *Journal of Applied Remote Sensing*. Vol. 3, núm. 1, p. 33543. ISSN 19313195. DOI 10.1117/1.3223675.
- Asner, G.; Tasar, E.; Sousan, A.; Knapp, D. (2013). *CLASlite Tecnología para el Monitoreo de Bosques* Institución Carnegie para la Ciencia USA. [en línea][Consultado: 10 Agosto 2017] Disponible en: <ftp://dgc.stanford.edu/pub/clas/docs/Espa%F1ol/CLASlite%20Guia%20del%20Usuario%20ESPA%D1OL.pdf>
- Baldo et al. (2010). *¿Qué es REDD +? Una guía para las comunidades indígenas ¿que es redd?*. Lima [en línea][Consulta: 15 de Julio 2017]. Disponible en: <https://www.servindi.org/pdf/REDD-1.pdf>
- Becerra, M. (2016). *¿Por qué fracasó la iniciativa Yasuní-itt?*. Universidad Complutense de Madrid. [en línea][Consultado: 18 de Julio 2017] Disponible en: https://www.ucm.es/data/cont/docs/599-2016-02-04-DT36_Thaia_Becerra.pdf

- Benalcázar, P. (2010). *Informes Temáticos dirección nacional de Protección de Derechos Humanos y de la Naturaleza*. Ministerio del Ambiente Ecuador. [en línea][Consultado: 16 de Julio 2017] Disponible en: <http://repositorio.dpe.gob.ec/bitstream/39000/124/1/IT-017-YASUNI.pdf>
- Bliemsrieder Michael (2011). *Plan de Manejo del Parque Nacional Yasuní*. Ministerio del Ambiente Ecuador. [en línea][Consultado: 23 de Julio 2017] Disponible en: <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/242256/45+PLAN+DE+MANEJO+YASUNI.pdf/8da03f55-1880-4704>
- Bravo, E. (2007). *Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad*. Acción Ecológica Ecuador.[en línea][Consultado: 03 de Agosto 2017] Disponible en: https://www.inredh.org/archivos/documentos_ambiental/impactos_explotacion_petrolera_esp.pdf
- Buen Vivir Plan Nacional de la República del Ecuador (2013). Objetivo Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global 7.11 [en línea][Consulta 23 de Julio 2017] Disponible en: https://www.unicef.org/ecuador/Plan_Nacional_Buen_Vivir_2013-2017.pdf
- Constitución de la República del Ecuador (2011). Registro Oficial 449. [en línea][Consulta: 23 de Julio 2017] Disponible en: http://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- Donoso, A. (2008). *Parque Nacional Yasuní ha despertado gran interés Científico*. Ecuador. [en línea][Consulta: 03 de Agosto 2017] Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/Parque-Nacional-Yasuni.pdf>
- Duchelle, A. (2015). *Monitoreo de los impactos de REDD+ Coordinación entre las diferentes escalas e integración interdisciplinar* Centro para la Investigación Forestal Internacional. Indonesia. [en línea][Consulta: 12 de Agosto 2017] Disponible en: http://www.cifor.org/publications/pdf_files/Books/BDuchelle1601.pdf
- Ecologistas en Acción (2011). *La iniciativa ITT-Yasuní Un ejemplo de cómo transitar hacia un mundo sin calentamiento global, biodiverso y basado en energías*

- renovables*. Ecuador. [en línea][Consulta: 12 de Julio 2017].Disponible en: https://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/la_iniciativa_itt_yasuni.pdf
- Gómez, F. (1992). Los Sistemas de Informacion Geografica. Su importancia y utilidad en los estudios medioambientales. A: *Los Sistemas de Informacion Geografica. Su importancia y utilidad en los estudios medioambientales*. Vol. 20, p. 455-465.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2014). Aspectos técnicos de las imágenes landsat. México. [en línea] [Consulta: 27 de Octubre del 2017] Disponible en: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/doc/aspectos_tecnicos_imagenes_landsat.pdf
- Josselyn, Carranza (2003). Experiencias de conservación en el Parque Nacional Yasuní. Pontificia universidad católica Ecuador. [en línea][Consultado: 18 de Julio 2017] Disponible en: <https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwiTjYjApPPVAhV>
- Movimiento mundial por los bosques.La Zona Intangible Tagaeri Taromenane del Yasuní. Ecuador. [en línea] [Consultado:19 de Diciembre del 2017] Disponible en: <https://wrm.org.uy/es/articulos-del-boletin-wrm/seccion1/ecuador-la-zona-intangible-tagaeri-taromenane-del-yasuni/>
- Palmer, N. (2009). *Monitoring Deforestation for REDD: An overview of options for the Juma Sustainable Development Reserve Project* Fundación Amazonas.Brazil.[en línea][Consultado: 24 Agosto 2017] Disponible en: <http://fas-amazonas.org/versao/2012/wordpress/wp-content/uploads/2009/10/ACTUALIZED-08-06-CIFOR-UP.pdf>
- Proaño, F. (2015). *Plan de Acción REDD+. Ecuador: visión, medidas y acciones*. Ministerio del Ambiente Ecuador.
- Rodríguez, F. (2010). Estudio y analisis de las areas urbano forestal desde el punto de vista socioecnomico y el impacto de incendios una aplicacion a la provincia de Valparaiso Chile .Universidad de Chile. [en línea][Consultado: 19 Agosto 2017] Disponible en : <http://linfor.forestaluchile.cl/wp-content/uploads/2014/05/ID-25-2010-SEVEIF-FR-Gj-MC-et-al.pdf>

- Ricaurte, A. (2010). La actividad petrolera en el área del Yasuní lleva más de 20 años. El Universo, 21 de enero de 2010. Disponible en: <https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=13&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjt-7SuxabVAhXI1BoKHctADHEQFghmMAw&url=http%3A%2F%2Fwww.eluniverso.com%2F2010%2F01%2F21%2F1%2F1355%2Factividadpetroleraareayas-unillevamas20aos.html&usg=AFQjCNGPjDrsMTHSSRKd7I4liyk--sqOyA>
- Sánchez et al. (2012). *Los sistemas de información geográfica en la gestión forestal*. Universidad de Valladolid.[en línea][Consulta:20 Agosto 2017] Disponible en: <http://www.aet.org.es/congresos/viii/alb24.pdf>
- Santiago, M. et al. (2009). *Combustibles fósiles – Extracción petrolera en la Amazonía*.Ecuador [en línea][Consultado:19 de Agosto 2017]Disponible en: http://www.fuhem.es/media/ecosocial/image/culturambiente/fichas/ECUADOR_combustibles_n22.pdf
- Soria, J. (2017). Ecuador es el segundo país a nivel mundial en culminar la fase de preparación para REDD+. El Telégrafo, 28 de Junio de 2017. Disponible en: <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/ecuador/3/ecuador-es-el-segundo-pais-a-nivel-mundial-en-culminar-la-fase-de-preparacion-para-redd>